

THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED
TO CHARGE ANY FEE DUE IN THE
FEE SCHEDULE TO DEPOSIT
ACCOUNT NO. 1000000000000000

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of

Hideobu HAMADA

Serial No. NEW

Filed June 20, 2001

OPTICAL DEVICE

Attn: APPLICATION BRANCH

Attorney Docket No. 2001_0776A

11033 U.S. PTO

09/883949



CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119

Assistant Commissioner for Patents,
Washington, DC 20231

Sir:

Applicant in the above-entitled application hereby claims the dates of priority under the International Convention of Japanese Patent Application No. 2000-186343, filed June 21, 2000, Japanese Patent Application No. 2000-333106, filed October 31, 2000, and Japanese Patent Application No. 2000-372771, filed December 7, 2000, as acknowledged in the Declaration of this application.

Certified copies of said Japanese Patent Applications are submitted herewith.

Respectfully submitted,

Hideobu HAMADA

By Charles R. Watts
Charles R. Watts
Registration No. 33,142
Attorney for Applicant

CRW/asd
Washington, D.C. 20006-1021
Telephone (202) 721-8200
Facsimile (202) 721-8250
June 20, 2001

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

J1033 U.S. PTO
09/883949
06/20/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 6月21日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-186343

出 願 人

Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2001年 5月11日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造

出証番号 出証特2001-3039096

【書類名】 特許願

【整理番号】 2030719014

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01R 15/04

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式
 会社内

 【氏名】 浜田 英伸

【特許出願人】

 【識別番号】 000005821

 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100098291

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 小笠原 史朗

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 035367

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9405386

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学式センサ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ビームを発射する発光部と、前記光ビームの光路に沿って設定された所定の光軸上に偏光子、 $\lambda/4$ 板、電気光学結晶、および検光子が順に配置されているセンサ部と、前記センサ部を通過した後の前記光ビームを受光する受光部とを備え、前記受光部により受光された前記光ビームに基づき、前記電気光学結晶に印加された電圧を測定する光学式センサであって、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記 $\lambda/4$ 板と前記電気光学結晶との間に配置された第 1 の反射膜と、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記電気光学結晶と前記検光子との間に配置された第 2 の反射膜と、
を備え、

前記第 1 の反射膜と前記第 2 の反射膜との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であることを特徴とする光学式センサ。

【請求項 2】 前記第 1 および第 2 の反射膜は導電性反射膜であり、

測定されるべき前記電圧は、前記第 1 の反射膜と前記第 2 の反射膜との間に印加されることを特徴とする、請求項 1 に記載の光学式センサ。

【請求項 3】 前記電気光学結晶と前記 $\lambda/4$ 板とは、前記光ビームに対する前記電気光学結晶の屈折率を示す楕円の進相軸方向と前記光ビームに対する前記 $\lambda/4$ 板の屈折率を示す楕円の進相軸方向とが同方向となるように配置されていることを特徴とする、請求項 2 に記載の光学式センサ。

【請求項 4】 前記第 1 および第 2 の反射膜のうちの少なくとも一方に相当する導電性反射膜は、透明性導電膜と反射膜との 2 種類の膜から構成され、

前記第 1 の反射膜の反射面と前記第 2 の反射膜の反射面との間隔が前記光ビームの波長の半分の整数倍であることを特徴とする、請求項 2 に記載の光学式センサ。

【請求項 5】 前記第 1 および第 2 の反射膜は、第 1 の屈折率を有する媒質である高屈折率層と当該第 1 の屈折率よりも低い第 2 の屈折率を有する媒質であ

る低屈折率層との 2 種類の層が前記光軸方向に交互に積層されてなる多層膜であり、

1 つの前記高屈折率層の厚みと 1 つの前記低屈折率層の厚みとの和が前記光ビームの波長の $1/4$ であり、

前記第 1 の反射膜を構成する層のうち前記電気光学結晶に最も近い層である第 1 近接層と、前記第 2 の反射膜を構成する層のうち前記電気光学結晶に最も近い層である第 2 近接層とは、同種類の層であり、

前記第 1 近接層と前記第 2 近接層との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であることを特徴とする、請求項 1 に記載の光学式センサ。

【請求項 6】 前記センサ部が取り付けられる基板を更に備え、

前記発光部は、前記光ビームを前記センサ部に導入するための第 1 の光ファイバーを含み、

前記受光部は、前記センサ部を通過した前記光ビームを前記センサ部から導出するための第 2 の光ファイバーを含み、

前記基板は、

前記偏光子、前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶、前記第 2 の反射膜および前記検光子を前記光軸上に配置するように位置決めする部品ガイドと、

前記第 1 の光ファイバーを前記偏光子に光学的に結合させるように位置決める第 1 のファイバーガイドと、

前記第 2 の光ファイバーを前記検光子に光学的に結合させるように位置決める第 2 のファイバーガイドと、

を含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の光学式センサ。

【請求項 7】 測定すべき前記電圧を前記光軸に対して垂直な方向に前記電気光学結晶に印加するための 1 対の電極を更に備えることを特徴とする、請求項 1 に記載の光学式センサ。

【請求項 8】 前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶、および前記第 2 の反射膜から構成される機能部と、

第 1 の光ファイバーと第 1 のレンズと前記偏光子とによって構成され、前記機

能部に前記光ビームを導入する第 1 光伝送部と、

第 2 の光ファイバーと第 2 のレンズと前記検光子とによって構成され、前記機能部を通過した前記光ビームを前記機能部から導出する第 2 光伝送部と、
を備え、

前記第 1 光伝送部を構成する前記偏光子と前記第 2 光伝送部を構成する前記検光子との間に、前記機能部を構成する前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶、および前記第 2 の反射膜を挟み込むことにより、各接面に生じる摩擦力で前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶、および前記第 2 の反射膜を保持することを特徴とする、請求項 1 に記載の光学式センサ。

【請求項 9】 光ビームを発射する発光部と、前記光ビームの光路に沿って設定された所定の光軸上に、無偏光を円偏光に変換する円偏光手段、電気光学結晶膜、および検光子が順に配置されているセンサ部と、前記センサ部を通過した後の前記光ビームを受光する受光部とを備え、前記受光部により受光された前記光ビームに基づき、前記電気光学結晶膜に印加された電圧を測定する光学式センサであって、

前記発光部は、前記光ビームを前記センサ部に導入するための第 1 の光ファイバーを含み、

前記受光部は、前記センサ部を通過した前記光ビームを前記センサ部から導出するための第 2 の光ファイバーを含み、

前記円偏光手段は、

無偏光を直線偏光に変換する偏光子と、

直線偏光を円偏光に変換する $\lambda/4$ 板とを含み、

前記偏光子は、前記発光部からの前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 1 の光ファイバーの端面に形成され、

前記検光子は、前記センサ部を通過した前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 2 の光ファイバーの端面に形成されていることを特徴とする、光学式センサ。

【請求項 10】 前記 $\lambda/4$ 板は、前記偏光子によって得られた前記直線偏光のビームを円偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記偏光子

上に形成されていることを特徴とする、請求項 9 に記載の光学式センサ。

【請求項 1 1】 光ビームを発射する発光部と、前記光ビームの光路に沿って設定された所定の光軸上に、無偏光を円偏光に変換する円偏光手段、電気光学結晶膜、および検光子が順に配置されているセンサ部と、前記センサ部を通過した後の前記光ビームを受光する受光部とを備え、前記受光部により受光された前記光ビームに基づき、前記電気光学結晶膜に印加された電圧を測定する光学式センサであって、

前記発光部は、前記光ビームを前記センサ部に導入するための第 1 の光ファイバーを含み、

前記受光部は、前記センサ部を通過した前記光ビームを前記センサ部から導出するための第 2 の光ファイバーを含み、

前記円偏光手段は、前記発光部からの前記光ビームを円偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 1 の光ファイバーの端面に形成され、

前記検光子は、前記センサ部を通過した前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 2 の光ファイバーの端面に形成されていることを特徴とする、光学式センサ。

【請求項 1 2】 前記光軸に垂直な反射面を有し、前記円偏光手段と前記電気光学結晶膜との間に配置された第 1 の反射膜と、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記電気光学結晶膜と前記検光子との間に配置された第 2 の反射膜と、
を更に備え、

前記第 1 の反射膜と前記第 2 の反射膜との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であることを特徴とする、請求項 9 から 1 1 までのいずれか 1 項に記載の光学式センサ。

【請求項 1 3】 前記光軸に垂直な反射面を有し、前記 $\lambda/4$ 板と前記電気光学結晶膜との間に配置された第 1 の反射膜と、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記電気光学結晶膜と前記検光子との間に配置された第 2 の反射膜と、

前記センサ部が取り付けられる基板と、

を更に備え、

前記第 1 の反射膜と前記第 2 の反射膜との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であり、

前記基板は、

前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶膜および前記第 2 の反射膜を前記光軸上に配置するように位置決めする部品ガイドと、

前記第 1 の光ファイバーに形成された前記偏光子としてのフォトニック結晶層を前記 $\lambda/4$ に光学的に結合させるように、前記第 1 の光ファイバーを位置決めする第 1 のファイバーガイドと、

前記第 2 の光ファイバーに形成された前記検光子としてのフォトニック結晶層を前記第 2 の反射膜に光学的に結合させるように、前記第 2 の光ファイバーを位置決めする第 2 のファイバーガイドと、
を含むことを特徴とする、請求項 9 に記載の光学式センサ。

【請求項 1 4】 前記光軸に垂直な反射面を有し、前記円偏光手段と前記電気光学結晶膜との間に配置された第 1 の反射膜と、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記電気光学結晶膜と前記検光子との間に配置された第 2 の反射膜と、

前記センサ部が取り付けられる基板と、
を更に備え、

前記第 1 の反射膜と前記第 2 の反射膜との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であり、

前記基板は、

前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶膜および前記第 2 の反射膜を前記光軸上に配置するように位置決めする部品ガイドと、

前記第 1 の光ファイバーに形成された前記円偏光手段としてのフォトニック結晶層を前記第 1 の反射膜に光学的に結合させるように、前記第 1 の光ファイバーを位置決めする第 1 のファイバーガイドと、

前記第 2 の光ファイバーに形成された前記検光子としてのフォトニック結晶層を前記第 2 の反射膜に光学的に結合させるように、前記第 2 の光ファイバーを

位置決めする第 2 のファイバーガイドと、

を含むことを特徴とする、請求項 1 0 または 1 1 に記載の光学式センサ。

【請求項 1 5】 光ビームを発射する発光部と、前記光ビームの光路に沿って設定された所定の光軸上に、偏光子、磁気光学結晶膜、および検光子が順に配置されているセンサ部と、前記センサ部を通過した後の前記光ビームを受光する受光部とを備え、前記受光部により受光された前記光ビームに基づき、前記磁気光学結晶膜に印加された磁界を測定する光学式センサであって、

前記発光部は、前記光ビームを前記センサ部に導入するための第 1 の光ファイバーを含み、

前記受光部は、前記センサ部を通過した前記光ビームを前記センサ部から導出するための第 2 の光ファイバーを含み、

前記偏光子は、前記発光部からの前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 1 の光ファイバーの端面に形成され、

前記検光子は、前記センサ部を通過した前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 2 の光ファイバーの端面に形成されていることを特徴とする、光学式センサ。

【請求項 1 6】 前記センサ部が取り付けられる基板を更に備え、

前記基板は、

前記磁気光学結晶膜を前記光軸上に配置するように位置決めする部品ガイドと、

前記第 1 の光ファイバーに形成された前記偏光子としてのフォトリック結晶層を前記磁気光学結晶膜に光学的に結合させるように、前記第 1 の光ファイバーを位置決めする第 1 のファイバーガイドと、

前記第 2 の光ファイバーに形成された前記検光子としてのフォトリック結晶層を前記磁気光学結晶膜に光学的に結合させるように、前記第 2 の光ファイバーを位置決めする第 2 のファイバーガイドと、

を含むことを特徴とする、請求項 1 5 に記載の光学式センサ。

【請求項 1 7】 所定波長の光を伝送する光伝送部材であって、

一方の端面から入射された光を伝送して他方の端面から出射する光ファイバー

と、

前記光ファイバーの一方および他方の端面のうち少なくとも1つの端面に形成され前記波長の光に対して直線偏光子として機能するフォトニック結晶層と、
を備えることを特徴とする光伝送部材。

【請求項18】 所定波長の光を伝送する光伝送部材であって、

一方の端面から入射された光を伝送して他方の端面から出射する光ファイバーと、

前記光ファイバーの一方および他方の端面のうち少なくとも1つの端面に形成され前記波長の光に対して $\lambda/4$ 板として機能するフォトニック結晶層と、
を備えることを特徴とする光伝送部材。

【請求項19】 所定波長の光を伝送する光伝送部材であって、

一方の端面から入射された光を伝送して他方の端面から出射する光ファイバーと、

前記光ファイバーの一方および他方の端面のうち少なくとも1つの端面に形成され前記波長の光に対して円偏光子として機能するフォトニック結晶層であるフォトニック結晶円偏光子と、
を備えることを特徴とする光伝送部材。

【請求項20】 前記フォトニック結晶円偏光子は、

前記波長の無偏光を直線偏光に変換する偏光子として機能する第1のフォトニック結晶層と、

前記第1のフォトニック結晶層によって得られる前記波長の直線偏光を円偏光に変換する $\lambda/4$ 板として機能する第2のフォトニック結晶層と、
を含むことを特徴とする、請求項19に記載の光伝送部材。

【請求項21】 前記フォトニック結晶円偏光子は、光伝播方向を含む少なくとも1方向に、第1の透磁率を有する媒質である高透磁率部分と当該第1の透磁率よりも低い第2の透磁率を有する媒質である低透磁率部分とが交互に繰り返される周期構造を有するフォトニック結晶層として形成されていることを特徴とする、請求項19に記載の光伝送部材。

【請求項22】 フォトニック結晶を作製する方法であって、

少なくとも 1 本の光ファイバーの端面を基板として当該端面に直接にフォトニック結晶を成長させることを特徴とするフォトニック結晶作製方法。

【請求項 2 3】 複数本の光ファイバーのそれぞれの端面が同一平面上に揃うように当該複数本の光ファイバーを束ねて光ファイバー束を作成する第 1 ステップと、

同一平面上に揃えられた前記端面から構成される、前記光ファイバー束の端面を基板として、当該基板に直接にフォトニック結晶を成長させる第 2 ステップと

、
前記第 2 ステップによってフォトニック結晶が端面に形成された前記光ファイバー束を、前記光ファイバー束を構成する各光ファイバーに分離する第 3 ステップと、

を備えることを特徴とする、請求項 2 2 に記載のフォトニック結晶作製方法。

【請求項 2 4】 光ファイバーの光軸に対し当該光ファイバーの端面が予め決められた角度をなすように当該端面を加工するステップと、

前記加工された端面を基板として当該端面に直接に当該端面の法線方向にフォトニック結晶を成長させるステップと、

を備えることを特徴とする、請求項 2 2 に記載のフォトニック結晶作製方法。

【請求項 2 5】 空気よりも高い屈折率を有する微粒子を前記基板に対し周期的に前記基板の法線方向に積層することにより、前記フォトニック結晶を前記基板に成長させることを特徴とする、請求項 2 2 から 2 4 までのいずれか 1 項に記載のフォトニック結晶作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、送電線や配電線などの電圧または電流を検知するために使用される光学式センサに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

図 1 5 は、従来の光電圧センサの概略構造を示す透視正面図である。この光電

圧センサは、センサ部と、発光部と、受光部と、発光側および受光側信号処理回路（図示せず）とを備えている。そのセンサ部は、光の入射側から順に同一光軸上に配置された偏光子 1 4 1、 $1/4$ 波長板（「 $\lambda/4$ 板」とも呼ばれる） 1 4 2、電気光学結晶 1 4 3、および検光子 1 4 4 で構成される。また、発光部は、光源としての L E D (Light Emitting Diode) 等の発光素子を含む E / O 回路と、同一光軸上に配置された光ファイバー 1 4 6 a、フェルール 1 4 8 a、G R I N レンズ 1 4 7 a、およびホルダ 1 4 5 a からなる入力側光学系とで構成されており、その入力側光学系における各光学部品は互いに接する光軸面が接着剤により接着されている。そして受光部は、同一光軸上に配置された光ファイバー 1 4 6 b、フェルール 1 4 8 b、G R I N レンズ 1 4 7 b およびホルダ 1 4 5 b からなる出力側光学系と、その出力側光学系から出射される光信号を電気信号に変換する変換素子を含む O / E 回路とで構成されており、出力側光学系における各光学部品も互いに接する光軸面で接着剤により接着されている。

【 0 0 0 3 】

上記光電圧センサのセンサ部において同一光軸上に配置された上記各光学部品、すなわち偏光子 1 4 1、 $\lambda/4$ 板 1 4 2、電気光学結晶 1 4 3、および検光子 1 4 4 は、互いに接する光軸面が全て接着剤で接着されている。ここで、光軸面とは光軸に垂直な面をいい、各光学部品につき光の入射面と出射面との 2 つが存在する（以下同様）。電気光学結晶 1 4 3 には 1 対の電極 1 3 5 が蒸着されており、その 1 対の電極 1 3 5 のそれぞれはリード線によって 1 対の電極端子 1 4 9 のそれぞれに電氣的に接続されている。上記光電圧センサで測定されるべき電圧（被測定電圧）は、1 対の電極端子 1 4 4 の端子間に印加される。

【 0 0 0 4 】

発光側および受光側信号処理回路は、それぞれ発光部および受光部によってセンサ部と接続されている。センサ部の偏光子 1 4 1 の入力側光軸面は発光部の G R I N レンズ 1 4 7 a の光軸面と、センサ部の検光子 1 4 4 の出力側光軸面は受光部の G R I N レンズ 1 4 7 b の光軸面と、それぞれ接着剤により固定される。そして、接着固定されたセンサ部、発光部における入力側光学系、および受光部における出力側光学系は、ケース（図示せず）に機構的に固定される。なお、上

記光電圧センサにおける各光学部品のための接着剤としては、エポキシ系あるいはウレタン系等の樹脂が使用される。

【0005】

上記光電圧センサにおいて、電気光学結晶143としては、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) や、KDP、自然複屈折を有する LiNbO_3 および LiTaO_3 等が使用される。

【0006】

次に、光電圧センサの動作原理を図16を参照して説明する。発光部における光源として、例えば中心波長 $0.85\mu\text{m}$ のLED (Light Emitting Diode) を使用した場合、LEDの無偏光は、発光部から出射され、入射光9としてセンサ部に入射される。この入射光9は、センサ部の偏光子141を通過した後、直線偏光となる。この直線偏光は $\lambda/4$ 板142を通過すると円偏光になり、この円偏光は、電気光学結晶 (LiNbO_3) 143を通過した後、その電気光学結晶143への印加電圧 V_m に応じて楕円化する。すなわち、電気光学結晶143の通過光の偏光状態は印加電圧 V_m によって変化する。このような楕円偏光は検光子144を通過した後に、出射光10として受光部で受光される。この出射光10の強度変化である出力強度変化は、電気光学結晶143の通過光の偏光状態に対応する。この偏光状態は印加電圧 V_m により変化するため、受光側の光ファイバー146bを介して、受光部において検光子144の出力強度変化をモニターし、光量(強度)の変調度を計算することで、印加電圧 V_m を測定することができる。ここで、光量の変調度とは、光量のAC成分と光量のDC成分の比のことである。

【0007】

ところで、光電圧センサは、屋外の厳しい環境下で使用されることが多く、その温度特性には厳しい条件が要求され、 $-20^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ において変調度変化が $\pm 1\%$ 以下であることが望まれる。上記従来の光電圧センサにおいて温度特性が生じる要因としては、 $\lambda/4$ 板142や電気光学結晶143における接着部の応力による屈折率の変化や、 $\lambda/4$ 板142の複屈折の温度特性がある。また、 LiNbO_3 など自然複屈折を有する電気光学結晶が使用される場合には、図17

に示すように、電気光学結晶 1 4 3 への入射光のビーム状態（軸ずれ角度 α や軸ずれ方向 β など）により、光電圧センサの出力である変調度が変化したり、その変調度の温度特性が変化したりする。

【 0 0 0 8 】

このような要因のそれぞれに対応した改善方法としては、現在、次のようなものが挙げられる。

（１）電気光学結晶に加わる応力の緩和により電気光学結晶の温度特性を改善する方法

この方法では、電気光学結晶を無接着状態で固定することにより、電気光学結晶に加わる応力が緩和される。この方法は、特開平 9 - 1 4 5 7 4 5 号公報に開示されている。

（２）入射光の軸ずれ角度の低減により電気光学結晶の自然複屈折の温度特性を改善する方法

この方法では、光学部品自身の機械的な面精度を向上させて電気光学結晶における光の入射角を 0.2° 以下にすることにより、入射光の軸ずれによる温度特性が改善される。この方法は特開平 3 - 4 4 5 6 2 号公報に開示されている。

（３）電気光学素子に対する入射光の入射角度を周囲温度に対応して変化させることにより、センサ出力の温度特性を改善する方法

この方法では、電気光学結晶（ポッケルス素子）に対する入射光の入射角度を周囲温度に対応して変化させる入射角調整手段で、その入射角度の変化による出力変化で温度変化による出力変化を相殺することにより、センサ出力の温度特性が改善される。この方法に基づく光学式センサは、特開平 7 - 2 4 8 3 3 9 号公報に開示されている。

【 0 0 0 9 】

【発明が解決しようとする課題】

上記（１）の方法によれば、大きな温度特性の原因となるビーム状態の変動を防止できるが、初期のビーム状態がばらつく場合は温度特性のバラツキは避けられない。上記（２）の方法は、使用が容易であるが、軸ずれの影響は、軸ずれ角度だけでなく、軸ずれ方向にも関係する。このため、上記（２）の方法に基づく

軸ずれ角度の低減だけでは、安定な特性が得られない。上記（３）の方法では、電気光学結晶に対する入射光の入射角度を周囲温度に対応して変化させる入射角調整手段を必要とし、これにより構成が複雑化し、生産性の低下やコストの上昇を招く。また、前述のように軸ずれの影響は軸ずれ角度だけでなく軸ずれ方向にも関係するので、入射光の入射角度すなわち軸ずれ角度の調整だけでは安定な温度特性が得られない。

【 0 0 1 0 】

これに対し本願出願人は、自然複屈折率を有する電気光学結晶の軸ずれ特性を利用して変調度の温度特性を制御するという方法に基づく光電圧センサの発明につき、特願平 1 1 - 2 1 5 7 9 8 号として既に出願している。この出願中の発明に係る光電圧センサによれば、電気光学結晶への入射光のビーム状態（軸ずれ角度および軸ずれ方向、または広がり角度など）を制御することにより、光電圧センサの温度特性が改善される。すなわち、軸ずれ角度のみならず軸ずれ方向をも考慮して軸ずれ状態を適切に設定することにより温度特性等が改善される。しかし、この出願中の発明に基づくビーム状態の制御は、レンズなどの光学部品の公差に起因するビーム状態バラツキを防止するためのビーム状態管理がコスト上昇を招くため、価格的に不利である。

【 0 0 1 1 】

したがって、現在、光電圧センサの低価格化を図るために、低コストでビーム状態を管理することが求められている。

【 0 0 1 2 】

そこで本発明では、コスト上昇を招くことなく、光学部品の公差等に起因するビーム状態のバラツキを抑制することにより、温度特性の安定化された光電圧センサなどの光学式センサを提供することを目的とする。

【 0 0 1 3 】

【課題を解決するための手段および発明の効果】

第 1 の発明は、光ビームを発射する発光部と、前記光ビームの光路に沿って設定された所定の光軸上に偏光子、 $\lambda/4$ 板、電気光学結晶、および検光子が順に配置されているセンサ部と、前記センサ部を通過した後の前記光ビームを受光す

る受光部とを備え、前記受光部により受光された前記光ビームに基づき、前記電気光学結晶に印加された電圧を測定する光学式センサであって、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記 $\lambda/4$ 板と前記電気光学結晶との間に配置された第1の反射膜と、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記電気光学結晶と前記検光子との間に配置された第2の反射膜と、
を備え、

前記第1の反射膜と前記第2の反射膜との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であることを特徴とする。

【0014】

上記第1の発明によれば、第1の反射膜と第2の反射膜によってエタロン共振器のような構造が実現されているので、電気光学結晶を通過する光の中心方向および分布が一定となる。これにより、電気光学結晶を通過する光ビームの状態が安定化し、その結果、光学部品の公差等によってセンサ部への入射光のビーム状態にバラツキがあっても、センサ出力である変調度は安定したものとなる。このようにして本発明によれば、コスト上昇を招くことなく、温度特性の安定化された光電圧センサを提供することができる。

【0015】

第2の発明は、第1の発明において、

前記第1および第2の反射膜は導電性反射膜であり、

測定されるべき前記電圧は、前記第1の反射膜と前記第2の反射膜との間に印加されることを特徴とする。

【0016】

上記第2の発明に係る光学式センサは、電気光学結晶に対し光軸の方向に被測定電圧が印加されるので、縦型変調方式の光電圧センサとして動作する。

【0017】

第3の発明は、第2の発明において、

前記電気光学結晶と前記 $\lambda/4$ 板とは、前記光ビームに対する前記電気光学結晶の屈折率を示す楕円の進相軸方向と前記光ビームに対する前記 $\lambda/4$ 板の屈折

率を示す楕円の進相軸方向とが同方向となるように配置されていることを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

上記第 3 の発明によれば、縦型変調方式の光電圧センサの出力（変調度）に係する電気光学定数の温度特性に起因するセンサ出力の温度依存性と、 $\lambda/4$ 板の複屈折の温度特性に起因するセンサ出力の温度依存性とが打ち消し合うように、電気光学結晶と前記 $\lambda/4$ 板とが配置されるので、センサ出力の温度特性が改善される。

【 0 0 1 9 】

第 4 の発明は、第 2 の発明において、前記第 1 および第 2 の反射膜のうちの少なくとも一方に相当する導電性反射膜は、透明性導電膜と反射膜との 2 種類の膜から構成され、

前記第 1 の反射膜の反射面と前記第 2 の反射膜の反射面との間隔が前記光ビームの波長の半分の整数倍であることを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

上記第 4 の発明によれば、導電性反射膜が透明導電性膜と反射膜とからなる多層膜として実現されるため、光学式センサの製造時において導電性反射膜を作製する際に、その導電率と反射率とを別個に制御することが可能となる。これにより、所望の特性を有する導電性反射膜を容易に作製することができる。

【 0 0 2 1 】

第 5 の発明は、第 1 の発明において、

前記第 1 および第 2 の反射膜は、第 1 の屈折率を有する媒質である高屈折率層と当該第 1 の屈折率よりも低い第 2 の屈折率を有する媒質である低屈折率層との 2 種類の層が前記光軸方向に交互に積層されてなる多層膜であり、

1 つの前記高屈折率層の厚みと 1 つの前記低屈折率層の厚みとの和が前記光ビームの波長の $1/4$ であり、

前記第 1 の反射膜を構成する層のうち前記電気光学結晶に最も近い層である第 1 近接層と、前記第 2 の反射膜を構成する層のうち前記電気光学結晶に最も近い層である第 2 近接層とは、同種類の層であり、

前記第 1 近接層と前記第 2 近接層との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であることを特徴とする

【 0 0 2 2 】

上記第 5 の発明によれば、第 1 の反射膜と第 2 の反射膜は、センサ部に入射される光ビームに対していわゆる P B G (Photonic Band Gap) 反射鏡として機能し、これらの P B G 反射鏡で囲まれた空間内で強い共振が生じる。これにより、電気光学結晶を通過する光の中心方向および分布が一定となり、その結果、光学部品の公差等によってセンサ部への入射光のビーム状態にバラツキがあっても、センサ出力である変調度が安定化する。

【 0 0 2 3 】

第 6 の発明は、第 1 の発明において、

前記センサ部が取り付けられる基板を更に備え、

前記発光部は、前記光ビームを前記センサ部に導入するための第 1 の光ファイバーを含み、

前記受光部は、前記センサ部を通過した前記光ビームを前記センサ部から導出するための第 2 の光ファイバーを含み、

前記基板は、

前記偏光子、前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶、前記第 2 の反射膜および前記検光子を前記光軸上に配置するように位置決めする部品ガイドと、

前記第 1 の光ファイバーを前記偏光子に光学的に結合させるように位置決める第 1 のファイバーガイドと、

前記第 2 の光ファイバーを前記検光子に光学的に結合させるように位置決める第 2 のファイバーガイドと、

を含むことを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

上記第 6 の発明によれば、第 1 および第 2 の反射膜によって囲まれる領域内で光ビームの指向性が高められていて、レンズを使用することなく、第 1 および第 2 の光ファイバーがセンサ部に光学的に結合される。これにより、光学式センサ

としての性能の低下を抑えつつ、部品点数が削減されてコスト低減が図られる。

【 0 0 2 5 】

第 7 の発明は、第 1 の発明において、

測定すべき前記電圧を前記光軸に対して垂直な方向に前記電気光学結晶に印加するための 1 対の電極を更に備えることを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

上記第 7 の発明に係る光学式センサは、電気光学結晶に対し光軸に垂直な方向に被測定電圧が印加されるので、横型変調方式の光電圧センサとして動作する。

【 0 0 2 7 】

第 8 の発明は、第 1 の発明において、

前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶、および前記第 2 の反射膜から構成される機能部と、

第 1 の光ファイバーと第 1 のレンズと前記偏光子とによって構成され、前記機能部に前記光ビームを導入する第 1 光伝送部と、

第 2 の光ファイバーと第 2 のレンズと前記検光子とによって構成され、前記機能部を通過した前記光ビームを前記機能部から導出する第 2 光伝送部と、
を備え、

前記第 1 光伝送部を構成する前記偏光子と前記第 2 光伝送部を構成する前記検光子との間に、前記機能部を構成する前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶、および前記第 2 の反射膜を挟み込むことにより、各接面に生じる摩擦力で前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶、および前記第 2 の反射膜を保持することを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

上記第 8 の発明によれば、機能部を構成する光学部品が各接面に生じる摩擦力で保持されているため、電気光学結晶に加わる応力が緩和されて電気光学結晶の温度特性が改善され、これによってセンサ出力の温度特性が改善される。

【 0 0 2 9 】

第 9 の発明は、光ビームを発射する発光部と、前記光ビームの光路に沿って設定された所定の光軸上に、無偏光を円偏光に変換する円偏光手段、電気光学結晶

膜、および検光子が順に配置されているセンサ部と、前記センサ部を通過した後の前記光ビームを受光する受光部とを備え、前記受光部により受光された前記光ビームに基づき、前記電気光学結晶膜に印加された電圧を測定する光学式センサであって、

前記発光部は、前記光ビームを前記センサ部に導入するための第 1 の光ファイバーを含み、

前記受光部は、前記センサ部を通過した前記光ビームを前記センサ部から導出するための第 2 の光ファイバーを含み、

前記円偏光手段は、

無偏光を直線偏光に変換する偏光子と、

直線偏光を円偏光に変換する $\lambda/4$ 板とを含み、

前記偏光子は、前記発光部からの前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 1 の光ファイバーの端面に形成され、

前記検光子は、前記センサ部を通過した前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 2 の光ファイバーの端面に形成されていることを特徴とする。

【 0 0 3 0 】

上記第 9 の発明によれば、偏光子および検光子がそれぞれ第 1 および第 2 の光ファイバーの端面にフォトリック結晶層として形成されているため、光学式センサの部品点数が削減されてコストが低減される。

【 0 0 3 1 】

第 1 0 の発明は、第 9 の発明において、

前記 $\lambda/4$ 板は、前記偏光子によって得られた前記直線偏光のビームを円偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記偏光子上に形成されていることを特徴とする。

【 0 0 3 2 】

上記第 1 0 の発明によれば、第 1 の光ファイバーの端面にフォトリック結晶層として形成された偏光子上に、更に $\lambda/4$ 板がフォトリック層として形成されているため、光学式センサの部品点数が更に削減されて更にコストが低減される。

【 0 0 3 3 】

第 1 1 の発明は、光ビームを発射する発光部と、前記光ビームの光路に沿って設定された所定の光軸上に、無偏光を円偏光に変換する円偏光手段、電気光学結晶膜、および検光子が順に配置されているセンサ部と、前記センサ部を通過した後の前記光ビームを受光する受光部とを備え、前記受光部により受光された前記光ビームに基づき、前記電気光学結晶膜に印加された電圧を測定する光学式センサであって、

前記発光部は、前記光ビームを前記センサ部に導入するための第 1 の光ファイバーを含み、

前記受光部は、前記センサ部を通過した前記光ビームを前記センサ部から導出するための第 2 の光ファイバーを含み、

前記円偏光手段は、前記発光部からの前記光ビームを円偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 1 の光ファイバーの端面に形成され、

前記検光子は、前記センサ部を通過した前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 2 の光ファイバーの端面に形成されていることを特徴とする。

【 0 0 3 4 】

上記第 1 1 の発明によれば、円偏光手段および検光子がそれぞれ第 1 および第 2 の光ファイバーの端面にフォトリック結晶層として形成されているため、光学式センサの部品点数が削減されてコストが低減される。

【 0 0 3 5 】

第 1 2 の発明は、第 9 ないし第 1 1 の発明のいずれかにおいて、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記円偏光手段と前記電気光学結晶膜との間に配置された第 1 の反射膜と、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記電気光学結晶膜と前記検光子との間に配置された第 2 の反射膜と、

を更に備え、

前記第 1 の反射膜と前記第 2 の反射膜との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であることを特徴とする。

【 0 0 3 6 】

上記第 1 2 の発明によれば、第 1 および第 2 の反射膜によって囲まれる領域内で光ビームの指向性が高くなり、また、センサ部を構成する光学部品として膜状の部品が使用され、かつ偏光子や検光子などの光学部品がフォトニック結晶層として光ファイバー端面に形成されているため、センサ部の光路長が短縮されている。このため、レンズを使用することなく、第 1 および第 2 の光ファイバーをセンサ部に光学的に結合することにより、光学式センサとしての性能の低下を抑えつつ、部品点数を削減しコストを低減することができる。また、第 1 および第 2 の反射膜により、電気光学結晶を通過する光ビームの状態が安定化するという効果も得られる。

【 0 0 3 7 】

第 1 3 の発明は、第 9 の発明において、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記 $\lambda/4$ 板と前記電気光学結晶膜との間に配置された第 1 の反射膜と、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記電気光学結晶膜と前記検光子との間に配置された第 2 の反射膜と、

前記センサ部が取り付けられる基板と、
を更に備え、

前記第 1 の反射膜と前記第 2 の反射膜との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であり、

前記基板は、

前記 $\lambda/4$ 板、前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶膜および前記第 2 の反射膜を前記光軸上に配置するように位置決めする部品ガイドと、

前記第 1 の光ファイバーに形成された前記偏光子としてのフォトニック結晶層を前記 $\lambda/4$ に光学的に結合させるように、前記第 1 の光ファイバーを位置決めする第 1 のファイバーガイドと、

前記第 2 の光ファイバーに形成された前記検光子としてのフォトニック結晶層を前記第 2 の反射膜に光学的に結合させるように、前記第 2 の光ファイバーを位置決めする第 2 のファイバーガイドと、

を含むことを特徴とする。

【 0 0 3 8 】

上記第 1 3 の発明によれば、第 1 および第 2 の反射膜によって囲まれる領域内で光ビームの指向性が高くなり、また、センサ部を構成する光学部品としての膜状部品が部品ガイドで位置決めされ、かつ偏光子および検光子がそれぞれ第 1 および第 2 の光ファイバーの端面にフォトニック結晶層として形成されているため、センサ部の光路長が短縮されている。このようにして光ビームの指向性を高めかつセンサ部における光路長を短縮した上で、レンズを使用することなく、第 1 および第 2 の光ファイバーがセンサ部に光学的に結合される。これにより、光学式センサとしての性能の低下を抑えつつ、部品点数が削減されてコスト低減が図られる。また、第 1 および第 2 の反射膜により、電気光学結晶を通過する光ビームの状態が安定化するという効果も得られる。

【 0 0 3 9 】

第 1 4 の発明は、第 1 0 または第 1 1 の発明において、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記円偏光手段と前記電気光学結晶膜との間に配置された第 1 の反射膜と、

前記光軸に垂直な反射面を有し、前記電気光学結晶膜と前記検光子との間に配置された第 2 の反射膜と、

前記センサ部が取り付けられる基板と、
を更に備え、

前記第 1 の反射膜と前記第 2 の反射膜との間隔は、前記光ビームの波長の半分の整数倍であり、

前記基板は、

前記第 1 の反射膜、前記電気光学結晶膜および前記第 2 の反射膜を前記光軸上に配置するように位置決めする部品ガイドと、

前記第 1 の光ファイバーに形成された前記円偏光手段としてのフォトニック結晶層を前記第 1 の反射膜に光学的に結合させるように、前記第 1 の光ファイバーを位置決めする第 1 のファイバーガイドと、

前記第 2 の光ファイバーに形成された前記検光子としてのフォトニック結晶

層を前記第 2 の反射膜に光学的に結合させるように、前記第 2 の光ファイバーを位置決めする第 2 のファイバーガイドと、
を含むことを特徴とする。

【 0 0 4 0 】

上記第 1 4 の発明によれば、上記第 1 3 の発明と同様にして、第 1 および第 2 の反射膜によって囲まれる領域内で光ビームの指向性が高くなり、かつセンサ部の光路長が短縮された上で、第 1 および第 2 の光ファイバーがセンサ部に光学的に結合される。これにより、光学式センサとしての性能の低下を抑えつつ、部品点数が削減されてコスト低減が図られる。また、第 1 および第 2 の反射膜により、電気光学結晶を通過する光ビームの状態が安定化するという効果も得られる。

【 0 0 4 1 】

第 1 5 の発明は、光ビームを発射する発光部と、前記光ビームの光路に沿って設定された所定の光軸上に、偏光子、磁気光学結晶膜、および検光子が順に配置されているセンサ部と、前記センサ部を通過した後の前記光ビームを受光する受光部とを備え、前記受光部により受光された前記光ビームに基づき、前記磁気光学結晶膜に印加された磁界を測定する光学式センサであって、

前記発光部は、前記光ビームを前記センサ部に導入するための第 1 の光ファイバーを含み、

前記受光部は、前記センサ部を通過した前記光ビームを前記センサ部から導出するための第 2 の光ファイバーを含み、

前記偏光子は、前記発光部からの前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 1 の光ファイバーの端面に形成され、

前記検光子は、前記センサ部を通過した前記光ビームを直線偏光のビームに変換するフォトリック結晶層として、前記第 2 の光ファイバーの端面に形成されていることを特徴とする。

【 0 0 4 2 】

上記第 1 5 の発明によれば、偏光子および検光子がそれぞれ第 1 および第 2 の光ファイバーの端面にフォトリック結晶層として形成されているため、光学式磁界センサの部品点数が削減されてコストが低減される。

【 0 0 4 3 】

第 1 6 の発明は、第 1 5 の発明において、
前記センサ部が取り付けられる基板を更に備え、
前記基板は、

前記磁気光学結晶膜を前記光軸上に配置するように位置決めする部品ガイドと、

前記第 1 の光ファイバーに形成された前記偏光子としてのフォトニック結晶層を前記磁気光学結晶膜に光学的に結合させるように、前記第 1 の光ファイバーを位置決めする第 1 のファイバーガイドと、

前記第 2 の光ファイバーに形成された前記検光子としてのフォトニック結晶層を前記磁気光学結晶膜に光学的に結合させるように、前記第 2 の光ファイバーを位置決めする第 2 のファイバーガイドと、
を含むことを特徴とする。

【 0 0 4 4 】

上記第 1 6 の発明によれば、偏光子および検光子がそれぞれ第 1 および第 2 の光ファイバーの端面にフォトニック結晶層として形成されているため、部品点数が削減され、センサ部の光路長が短縮化される。このように光路長が短縮された上で、レンズを使用することなく、第 1 および第 2 の光ファイバーがセンサ部に光学的に結合される。これにより、光学式磁界センサとしての性能の低下を抑えつつ、部品点数が削減されてコスト低減が図られる。

【 0 0 4 5 】

第 1 7 の発明は、所定波長の光を伝送する光伝送部材であって、
一方の端面から入射された光を伝送して他方の端面から出射する光ファイバーと、

前記光ファイバーの一方および他方の端面のうち少なくとも 1 つの端面に形成され前記波長の光に対して直線偏光子として機能するフォトニック結晶層と、
を備えることを特徴とする。

【 0 0 4 6 】

第 1 8 の発明は、所定波長の光を伝送する光伝送部材であって、

一方の端面から入射された光を伝送して他方の端面から出射する光ファイバーと、

前記光ファイバーの一方および他方の端面のうち少なくとも1つの端面に形成され前記波長の光に対して $\lambda/4$ 板として機能するフォトリック結晶層と、
を備えることを特徴とする。

【0047】

第19の発明は、所定波長の光を伝送する光伝送部材であって、

一方の端面から入射された光を伝送して他方の端面から出射する光ファイバーと、

前記光ファイバーの一方および他方の端面のうち少なくとも1つの端面に形成され前記波長の光に対して円偏光子として機能するフォトリック結晶層であるフォトリック結晶円偏光子と、
を備えることを特徴とする。

【0048】

上記第17、18、19の発明によれば、それぞれ、直線偏光子、 $\lambda/4$ 板、円偏光子が光ファイバーの端面に形成されているので、これらを使用する光学機器の部品点数を削減できる。

【0049】

第20の発明は、第19の発明において、

前記フォトリック結晶円偏光子は、

前記波長の無偏光を直線偏光に変換する偏光子として機能する第1のフォトリック結晶層と、

前記第1のフォトリック結晶層によって得られる前記波長の直線偏光を円偏光に変換する $\lambda/4$ 板として機能する第2のフォトリック結晶層と、
を含むことを特徴とする。

【0050】

第21の発明は、第19の発明において、

前記フォトリック結晶円偏光子は、光伝播方向を含む少なくとも1方向に、第1の透磁率を有する媒質である高透磁率部分と当該第1の透磁率よりも低い第2

の透磁率を有する媒質である低透磁率部分とが交互に繰り返される周期構造を有するフォトリック結晶層として形成されていることを特徴とする。

【 0 0 5 1 】

上記第 2 1 の発明によれば、円偏光子として機能するフォトリック結晶が単一層として光ファイバーに形成されているので、これらを使用する光学機器の部品点数を更に削減できる。

【 0 0 5 2 】

第 2 2 の発明は、フォトリック結晶を作製する方法であって、

少なくとも 1 本の光ファイバーの端面を基板として当該端面に直接にフォトリック結晶を成長させることを特徴とする。

【 0 0 5 3 】

上記第 2 2 の発明によれば、フォトリック結晶により実現可能な機能を有する光学素子の製作コストの低減が可能となり、また、そのような光学素子や光ファイバーを使用する光学機器の部品点数の削減が可能となる。

【 0 0 5 4 】

第 2 3 の発明は、第 2 2 の発明において、

複数本の光ファイバーのそれぞれの端面が同一平面上に揃うように当該複数本の光ファイバーを束ねて光ファイバー束を作成する第 1 ステップと、

同一平面上に揃えられた前記端面から構成される、前記光ファイバー束の端面を基板として、当該基板に直接にフォトリック結晶を成長させる第 2 ステップと、

前記第 2 ステップによってフォトリック結晶が端面に形成された前記光ファイバー束を、前記光ファイバー束を構成する各光ファイバーに分離する第 3 ステップと、

を備えることを特徴とする。

【 0 0 5 5 】

上記第 2 3 の発明によれば、所定の機能を有する光学素子をフォトリック結晶として光ファイバーの端面に効率よく作製することができる。

【 0 0 5 6 】

第 2 4 の発明は、第 2 2 の発明において、

前記光ファイバーの光軸に対し前記光ファイバーの端面が予め決められた角度をなすように当該端面を加工するステップと、

前記加工された端面を基板として当該端面に直接に当該端面の法線方向にフォトリソグラフィ結晶を成長させるステップと、
を備えることを特徴とする。

【 0 0 5 7 】

光ファイバーの端面に作製されたフォトリソグラフィ結晶に所望の光学的機能を好適に発揮させるには、フォトリソグラフィ結晶の成長方向（積層方向）が光ファイバーの光軸方向に対して所定の角度をなすようにすることが必要な場合がある。上記第 2 4 の発明によれば、この場合、光ファイバーの端面をその所定の角度に応じて加工して斜め端面を形成した後に、その斜め端面に対し法線方向にフォトリソグラフィ結晶を成長させることができる。したがって、所望の機能を好適に発揮するフォトリソグラフィ結晶を光ファイバーの端面に作製することができる。

【 0 0 5 8 】

第 2 5 の発明は、第 2 2 ないし第 2 4 の発明のいずれかにおいて、

空気よりも高い屈折率を有する微粒子を前記基板に対し周期的に前記基板の法線方向に積層することにより、前記フォトリソグラフィ結晶を前記基板に成長させることを特徴とする。

【 0 0 5 9 】

上記第 2 5 の発明によれば、円偏光子として機能するフォトリソグラフィ結晶が単一層として光ファイバーに形成されるので、円偏光子の製作コストの低減が可能となり、また、円偏光子および光ファイバーを使用する光学機器の部品点数の削減が可能となる。

【 0 0 6 0 】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照しつつ本発明の各実施形態について説明する。

<第 1 の実施形態>

まず、本発明の第 1 の実施形態である光電圧センサについて説明する。

本実施形態の光電圧センサは、図 1 に示すように、センサ部と、発光部 18 と、受光部 19 とを備えており、センサ部は、光の入射側から順に同一光軸 8 上に配置された、偏光子 1、 $\lambda/4$ 板 2、第 1 導電性反射膜 6、電気光学結晶 3、第 2 導電性反射膜 7 および検光子 4 で構成される。

【 0 0 6 1 】

発光部 18 は、光源としての LED 等の発光素子を含む E/O 回路と、光ファイバー等を含む入力側光学系とから構成されている。光源から発射された光ビームは、入力側光学系を経てセンサ部に入射する。

【 0 0 6 2 】

センサ部では、その光ビームの光路に上記の偏光子 1、 $\lambda/4$ 板 2、第 1 導電性反射膜 6、電気光学結晶 3、第 2 導電性反射膜 7 および検光子 4 が順に配置されており、その光ビームは、これらの光学素子により被測定電圧 V_m で変調された後に出射される。本実施形態では、電気光学結晶 3 として Z 軸伝播 LiNbO_3 結晶が使用されており、電気光学結晶 3 はその Z 軸 (C 軸) を光軸 8 に合わせるように配置されている。また、第 1 導電性反射膜 6 および第 2 導電性反射膜 7 は、それらの反射面が光軸 8 に垂直となるように、かつ、第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 との間隔 d_r がセンサ部への入射光 9 の波長の半分の整数倍となるように配置されている。なお、図 1 に示す如く、Z 軸が光軸 8 に沿い X 軸と Y 軸が光軸 8 に垂直な平面内の互いに垂直な 2 方向のそれぞれに沿うように座標系が設定されているものとする。このとき、Z 軸伝播 LiNbO_3 結晶に対し Z 軸方向に電界を印加した場合すなわち縦型変調の場合の変調度に関係する電気光学定数は γ_{33} と γ_{31} であり、Z 軸伝播 LiNbO_3 結晶 3 の設定方向が X 軸方向の場合、偏光子 1 と検光子 4 の設定方向は X 軸に対して $\pm 45^\circ$ であり、 $\lambda/4$ 板 2 の設定方向は X 軸方向または Y 軸方向である。ここで、設定方向とは、電気光学結晶や $\lambda/4$ 板などに入射する光ビームに対する屈折率を示す楕円の主軸方向をいう。

【 0 0 6 3 】

受光部 19 は、光ファイバー等を含む出力側光学系と、光信号を電気信号に変換する光電変換素子を含む O/E 回路とから構成されている。センサ部から出射

された光ビームは出力側光学系を経て O/E 回路内の光电変換素子で受光されて電気信号に変換される。この電気信号は、 LiNbO_3 結晶 3 を通過した後の光ビームの偏光状態に応じたものであって、その偏光状態は被測定電圧 V_m に応じて変化する。受光部 19 に接続される受光側信号処理回路（図示せず）では、この電気信号に基づき変調度を計算することで、被測定電圧の値が求められる。

【 0 0 6 4 】

上記のように構成される光電圧センサの具体的な構造は、例えば図 5 または図 11 に示すような構造となっている。これらの構造の詳細については、後で他の実施形態として説明するので、ここでの詳しい説明を省略する。

【 0 0 6 5 】

本実施形態の光電圧センサでは、前述のように、センサ部における第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 との間隔 d_r がセンサ部への入射光 9 の波長の半分の整数倍となるように設定されている。このように設定されると、第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 の間でエタロン共振器（「ファブリー・ペロ共振器」とも呼ばれる）が構成される。これにより、第 1 導電性反射膜 6 および第 2 導電性反射膜 7 に垂直な方向である光軸 8 の方向に伝播する光が支配的となり、ビーム角度分布 15 は急峻となる（図 1 参照）。すなわち、光学部品の公差や構造上のバラツキ等によって入射光 9 の中心方向や分布にばらつきがあっても、第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 によって構成されるエタロン共振器により、電気光学結晶 3 を通過する光は、その中心方向が反射面に垂直（光軸 8 に平行）で、分布も一定となる。さらに、このようなエタロン共振器によって、電気光学結晶 3 を通過する光の波長も一定となる。

【 0 0 6 6 】

上記のように本実施形態によれば、第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 によって構成されるエタロン共振器により、電気光学結晶 3 を通過する光の中心方向および分布が一定となる。すなわち、電気光学結晶 3 への入射光ビームおよび電気光学結晶 3 を通過した後の光ビームのビーム状態が安定する。その結果、光学部品の公差等によってセンサ部への入射光 9 のビーム状態にバラツキがあっても、本実施形態の光電圧センサの出力である変調度は安定化する。なお、セン

サ部への入射光 9 の中心方向がばらつくと、電気光学結晶 3 に入射する光ビームの強度が変化するが、その分布は一定となるので、センサ部への入射光 9 の中心方向のバラツキは、受光部 1 9 における受光量の AC 成分と DC 成分との比として与えられる変調度のバラツキには実質的に影響しない。

【 0 0 6 7 】

なお、上記のビーム角度分布 1 5 は、第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 の反射率に依存し、反射率が高いほどビーム角度分布 1 5 が小さくなるので、反射率は 0. 6 以上であることが好ましい。このように、ビーム角度分布 1 5 が小さくなると、図 1 7 に示したような複屈折による軸ずれ特性に対して一定の特性が得られることになる。

【 0 0 6 8 】

< 光電圧センサの温度特性について >

上記実施形態では、Z 軸伝播 LiNbO_3 結晶 3 に対し Z 軸方向すなわち光軸 8 の方向に電界が印加される縦型変調方式が採用されているが、これに代えて、Z 軸伝播 LiNbO_3 結晶 3 に対し X 軸方向に電界が印加される横型変調方式を採用してもよい。横型変調方式の光電圧センサの具体的構成としては、例えば第 5 の実施形態として後で説明されているような構成が挙げられる（図 6 参照）。

【 0 0 6 9 】

横型変調方式を採用した場合、光電圧センサの変調度に関する電気光学定数は γ_{22} で、Z 軸伝播 LiNbO_3 結晶膜 3 の設定方向が X 軸方向の場合、偏光子 1 と検光子 4 の設定方向は X 軸方向か Y 軸方向であり、 $\lambda/4$ 板 2 の設定方向は X 軸に対して $\pm 45^\circ$ である。電気光学定数 γ_{22} の温度特性は小さいため、横型変調方式の場合、光電圧センサの出力（変調度）の温度による変化（以下「温度による出力変化」という）のうち LiNbO_3 結晶 3 の温度特性による寄与分は、図 2 において点線で示されているように、ほとんど無視できる程度である（図 2 において縦軸は 25°C のときの光電圧センサの出力（変調度）を基準とする相対出力変化を表している）。しかし、 $\lambda/4$ 板 2 の複屈折の温度特性により、横型変調方式の光電圧センサの出力である変調度は温度特性を持つことになる。た

だし、上記のように LiNbO_3 結晶膜 3 を囲む領域内にエタロン共振器が構成されて光ビーム状態が安定化されるため、光学部品の公差等によってセンサ部への入射光 9 のビーム状態にバラツキがあっても、光電圧センサの出力の温度特性がばらつかずに安定化する。なお、このことから、横型変調方式を採用した場合には、温度センサとしての用途も可能である。

【 0 0 7 0 】

上記第 1 の実施形態のように縦型変調方式を採用した場合には、前述のように、光電圧センサの出力である変調度に関する電気光学定数は γ_{33} と γ_{31} であり、Z 軸伝播 LiNbO_3 結晶 3 の設定方向が X 軸方向の場合に、偏光子 1 と検光子 4 の設定方向は X 軸に対して $\pm 45^\circ$ であり、 $\lambda/4$ 板 2 の設定方向は X 軸方向か Y 軸方向である。縦型変調方式の場合、電気光学定数 γ_{33} と γ_{31} の温度特性により、光電圧センサにおける温度による出力変化のうち LiNbO_3 結晶 3 の温度特性による寄与分は、図 2 において破線で示されているようになる。すなわち、温度が上昇すると、 LiNbO_3 結晶 3 の温度特性によって光電圧センサの出力が低下する。また、光電圧センサの温度による出力変化には、 $\lambda/4$ 板 2 の複屈折の温度特性に起因する成分が存在する（以下、これを「 $\lambda/4$ 板 2 の温度特性による出力変化」という）。ところで、 $\lambda/4$ 板 2 のその入射光に対する屈折率を示す楕円（以下「屈折率楕円」という）は、温度が高くなるほど真円に近づく。一方、 LiNbO_3 結晶 3 のその入射光に対する屈折率を示す楕円（屈折率楕円）は、温度が高くなるほど扁平な楕円になる。したがって、 $\lambda/4$ 板の屈折率楕円の進相軸方向と LiNbO_3 結晶 3 の屈折率楕円の進相軸方向とを一致させれば、両者の温度特性に起因するセンサ出力の温度依存性が互いにキャンセルされ（図 2 における破線と実線の直線参照）、その結果、温度による光電圧センサの出力変化が低減される。すなわち、 LiNbO_3 結晶 3 の設定方向が X 軸方向の場合、 $\lambda/4$ 板 2 の設定方向も X 軸方向となるように設定することにより、光電圧センサの出力の温度特性を改善することができる。

【 0 0 7 1 】

< 第 2 の実施形態 >

次に、本発明の第 2 の実施形態である光電圧センサについて説明する。

本実施形態の光電圧センサは、第 1 の実施形態と基本的に同様の構成すなわち図 1 に示すような構成を有している。本実施形態の光電圧センサにおける構成要素のうち第 1 の実施形態におけるものと同一の構成要素については、同一の参照符号を付してその説明を省略する。また、本実施形態の光電圧センサの全体的な動作も、実質的に第 1 の実施形態と同様であるので、詳しい説明を省略する。

【 0 0 7 2 】

本実施形態では、図 3 に示すように、センサ部においてエタロン共振器を構成するための導電性反射膜が、反射膜と透明導電性膜とで構成される多層膜で実現されている。すなわち、上記第 1 の実施形態における第 1 導電性反射膜 6 が、本実施形態では、第 1 透明導電性膜 2 1 と第 1 反射膜 2 2 とで構成される多層膜で実現される（この多層膜で実現される本実施形態の第 1 導電性反射膜を参照符号 6 b で示すものとする）。また、上記第 1 の実施形態における第 2 導電性反射膜 7 が、本実施形態では、第 2 透明導電性膜 2 3 と第 2 反射膜 2 4 とで構成される多層膜で実現される（この多層膜で実現される本実施形態の第 2 導電性反射膜を参照符号 7 b で示すものとする）。したがって、本実施形態では、第 1 反射膜 2 2 と第 2 反射膜 2 4 との間隔 d_{r2} がセンサ部への入射光 9 の波長の半分の整数倍となるように配置される。第 1 および第 2 透明導電性膜 2 1, 2 3 としては、例えば I T O (Indium-Tin-Oxide) 膜などを使用することができる。なお、図 3 は、第 1 導電性反射膜 6 b を構成する第 1 透明導電性膜 2 1 と第 2 導電性反射膜 7 b を構成する第 2 透明導電性膜 2 3 とが、共に LiNbO_3 結晶（電気光学結晶）3 の側に配置された例を示しているが、第 1 透明導電性膜 2 1 と第 1 反射膜 2 2 との順序、および、第 2 透明導電性膜 2 3 と第 2 反射膜 2 4 との順序は、任意である。ただし、上述のように、これらの順序に拘わらず、第 1 反射膜 2 2 と第 2 反射膜 2 4 との間隔がセンサ部への入射光 9 の波長の半分の整数倍となるように配置される。

【 0 0 7 3 】

本実施形態によれば、透明導電性膜と反射膜とからなる多層膜として実現される、第 1 導電性反射膜 6 b および第 2 導電性反射膜 7 b によって、第 1 の実施形態と同様にエタロン共振器が構成され、これにより、電気光学結晶 3 を通過する

光の中心方向および分布が一定となる。その結果、光学部品の公差等によってセンサ部への入射光 9 のビーム状態にバラツキがあっても、本実施形態の光電圧センサの出力である変調度は安定化する。さらに、本実施形態によれば、第 1 導電性反射膜 6 b および第 2 導電性反射膜 7 b が透明導電性膜と反射膜とからなる多層膜として実現されるため、第 1 および第 2 導電性反射膜 6 b および 7 b を作製する際に、それらの導電率と反射率とを別個に制御することが可能となる。したがって、単層膜によって導電性反射膜を実現する場合に比べ、反射率の大きな導電性反射膜を容易に作成できるので、上記ビーム状態の安定化という効果をより高めることができる。

【 0 0 7 4 】

< 第 3 の実施形態 >

次に、本発明の第 3 の実施形態である光電圧センサについて説明する。

本実施形態の光電圧センサは、第 1 の実施形態と基本的に同様の構成すなわち図 1 に示すような構成を有している。本実施形態の光電圧センサにおける構成要素のうち第 1 の実施形態におけるものと同一の構成要素については、同一の参照符号を付してその説明を省略する。また、本実施形態の光電圧センサの全体的な動作も実質的に第 1 の実施形態と同様であるので、詳しい説明を省略する。

【 0 0 7 5 】

本実施形態では、センサ部において電気光学結晶 3 である LiNbO_3 結晶膜を挟むように配置される 2 つの導電性反射膜が、図 4 に示すような多層膜で実現されている。すなわち、上記第 1 の実施形態における第 1 導電性反射膜 6 が、本実施形態では、第 1 透明導電性膜 2 1 と反射膜として機能する第 1 多層膜 3 3 とで構成される（このように本実施形態において第 1 透明導電性膜 2 1 と第 1 多層膜 3 3 とで構成される第 1 導電性反射膜を参照符号 6 c で示すものとする）。また、上記第 1 の実施形態における第 2 導電性反射膜 7 が、本実施形態では、第 2 透明導電性膜 2 3 と反射膜として機能する第 2 多層膜 3 4 とで構成される（このように本実施形態において第 2 透明導電性膜 2 3 と第 2 多層膜 3 4 とで構成される第 2 導電性反射膜を参照符号 7 c で示すものとする）。第 1 多層膜 3 3 および第 2 多層膜 3 4 は、共に、光軸 8 の方向に高屈折率層 3 1 と低屈折率層 3 2 とい

う 2 種類の層が交互に積層された多層膜であって、屈折率が光軸 8 の方向に周期的に変化するという周期構造を有している。すなわち、第 1 多層膜 3 3 および第 2 多層膜 3 4 は 1 次元フォトニック結晶である。また本実施形態では、第 1 透明導電性膜 2 1 は第 1 多層膜 3 3 と LiNbO_3 結晶膜 3 との間に、第 2 透明導電性膜 2 3 は第 2 多層膜 3 4 と LiNbO_3 結晶膜 3 との間に、それぞれ挟まれている。そして、第 1 多層膜 3 3 を構成する層のうち第 1 透明導電性膜 2 1 に接している層すなわち LiNbO_3 結晶膜 3 に最も近い層（以下「第 1 近接層」という）と、第 2 多層膜 3 4 を構成する層のうち第 2 透明導電性膜 2 3 に接している層すなわち LiNbO_3 結晶膜 3 に最も近い層（以下「第 2 近接層」という）とは、同種類の層である（すなわち同じ屈折率を有している）。図 4 に示した例では、第 1 および第 2 近接層は、共に高屈折率層 3 1 である。なお、第 1 および第 2 透明導電性膜 2 1, 2 3 としては、例えば ITO (Indium-Tin-Oxide) 膜などを使用することができる。また、高屈折率層 3 1 の材料としては、 Ta_2O_5 や、 TiO_2 、Ge、Si 等（例えば屈折率 3.4 ~ 3.6 程度の材料）を使用することができ、低屈折率層 3 2 の材料としては、 SiO_2 （屈折率 1.46 程度）や空気（屈折率 1）などを使用することができる。

【 0 0 7 6 】

上記の第 1 導電性反射膜 6 c および第 2 導電性反射膜 7 c において、1 つの高屈折率層 3 1 の厚みと 1 つの低屈折率層 3 2 の厚みとの和がセンサ部への入射光 9 の波長の $1/4$ となるように各層が形成されている。また、第 1 多層膜 3 3 と第 2 多層膜 3 4 とは、第 1 近接層と第 2 近接層との間隔、すなわち第 1 多層膜 3 3 の第 1 透明導電性膜 2 1 に接する面と第 2 多層膜 3 4 の第 2 透明導電性膜 2 3 に接する面との間隔 d_{r3} が、センサ部への入射光 9 の波長の半分の整数倍となるように配置されている。

【 0 0 7 7 】

上記のように構成され配置された第 1 導電性反射膜 6 c および第 2 導電性反射膜 7 c は、入射光 9 に対していわゆる PBG (Photonic Band Gap) 反射鏡として機能し、これらの PBG 反射鏡で囲まれた空間内で強い共振が生じる。すなわち、第 1 の実施形態におけるエタロン共振器と同質のより強い効果が得られる。こ

れにより、電気光学結晶 3 を通過する光の中心方向および分布が一定となり、その結果、光学部品の公差等によってセンサ部への入射光 9 のビーム状態にバラツキがあっても、本実施形態の光電圧センサの出力である変調度は安定化する。

【 0 0 7 8 】

ところで上記構成では、高屈折率層 3 1 の厚みと低屈折率層 3 2 の厚みとの和がセンサ部への入射光 9 の波長の $1/4$ となるように第 1 導電性反射膜 6 c および第 2 導電性反射膜 7 c が形成されているが、上記効果を高めるうえで、高屈折率層 3 1 の厚みと低屈折率層 3 2 の厚みとを共にセンサ部への入射光 9 の波長の $1/8$ とするのが好ましい。

【 0 0 7 9 】

なお、P B G 反射鏡の応用については、既に複数の文献で紹介されており、例えば米国特許 5, 3 6 5, 5 4 1 号に開示されている。

【 0 0 8 0 】

< 第 4 の実施形態 >

次に、本発明の第 4 の実施形態である光電圧センサについて説明する。

本実施形態の光電圧センサは、第 1 の実施形態と同様の構成すなわち図 1 に示すような構成を有している。本実施形態の光電圧センサにおける構成要素のうち第 1 の実施形態におけるものと同一の構成要素については、同一の参照符号を付してその説明を省略する。また、本実施形態の光電圧センサの全体的な動作も、実質的に第 1 の実施形態と同様であるので詳しい説明を省略する。

【 0 0 8 1 】

図 5 は、本実施形態に係る光電圧センサの要部の具体的な構造を示す透視正面図である。この光電圧センサは、基板 4 4 を備えており、この光電圧センサのセンサ部を構成する偏光子 1、 $\lambda/4$ 板 2、第 1 導電性反射膜 6、電気光学結晶としての LiNbO_3 結晶膜 3、第 2 導電性反射膜 7 および検光子 4 をそれぞれ密着させて所定の光軸 8 上に順に配置するように位置決めする部品ガイド 4 3 が、基板 4 4 の中央部に設けられている。この部品ガイド 4 3 は 4 つの縁から構成されていて、これら 4 つの縁のうち対向する 2 つの縁のそれぞれに垂直に接続された光ファイバーガイド 4 2 a、4 2 b が更に基板 4 4 に設けられている。これら

のうち光ファイバーガイド 4 2 a は、発光部 1 8 の入力側光学系を構成する光ファイバー 1 4 6 a を部品ガイド 4 3 で位置決めされた偏光子 1 に光学的に結合させるように、光ファイバー 1 4 6 a を案内する。光ファイバーガイド 4 2 b は、受光部 1 9 の出力側光学系を構成する光ファイバー 1 4 6 b を部品ガイド 4 3 で位置決めされた検光子 4 に光学的に結合させるように、光ファイバー 1 4 6 b を案内する。また、基板 4 4 には 1 対の電極 4 1 が取り付けられており、その 1 対の電極 4 1 の一方は部品ガイド 4 3 によって位置決めされた第 1 導電性反射膜 6 に、他方は部品ガイド 4 3 によって位置決めされた第 2 導電性反射膜 7 に、それぞれリード線 4 5 によって電氣的に接続されている。したがって、1 対の電極 4 1 間に被測定電圧 V_m が印加されると、その電圧 V_m が電気光学結晶である LiNbO_3 膜 3 に Z 軸方向（光軸 8 の方向）に印加される。

【 0 0 8 2 】

また、本実施形態では、第 1 の実施形態と同様、センサ部における第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 との間隔 d_r が、センサ部への入射光 9 の波長の半分の整数倍となるように設定されている。これによって第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 の間でエタロン共振器が構成されるため、第 1 導電性反射膜 6 および第 2 導電性反射膜 7 に垂直な方向である光軸 8 の方向に伝播する光が支配的となり、ビーム角度分布 1 5 は急峻となる。その結果、光学部品の公差等によってセンサ部への入射光 9 のビーム状態にバラツキがあっても、本実施形態の光電圧センサの出力である変調度は安定化するという効果が得られ、更に、センサ部を通過する光の指向性が向上するという効果が得られる。

【 0 0 8 3 】

上記のように本実施形態によれば、センサ部において LiNbO_3 結晶膜 3 を囲む領域にエタロン共振器が構成されることによって、センサ部を通過する光の指向性が向上して LiNbO_3 結晶膜 3 への入射光ビームの軸ずれが抑えられる。また、センサ部を構成する各光学部品が板状または膜状となっていて、かつ部品ガイド 4 3 によりそれらの光学部品のそれぞれが密着した状態で位置決めされているため、センサ部における光路長が従来の構成（図 1 5 参照）に比べて短縮化される（この光路長を例えば 2 ～ 3 mm 程度とすることができる）。本実施形

態では、このようにしてセンサ部を通過する光の指向性を高めるとともにセンサ部における光路長を短縮化した上で、光ファイバーガイド42aによって入力側光学系の光ファイバー42aを直接に偏光子1に光学的に結合し、光ファイバーガイド42bによって出力側光学系の光ファイバー42bを直接に検光子4に光学的に結合している。すなわち、本実施形態では、センサ部における光の指向性の向上および光路長の短縮化により、レンズを使用することなく、偏光子1側での光ファイバー146aの結合ロスと検光子4側での光ファイバー146bの結合ロスとを、実用上問題のない範囲に収めることができる。このようにして本実施形態によれば、光学式のセンサとしての性能の低下を抑えつつ、レンズを不要として部品点数を削減することで、コストを低減することができる。

【0084】

<第5の実施形態>

次に、本発明の第5の実施形態である光電圧センサについて説明する。

本実施形態の光電圧センサは、横型変調方式のセンサであって、電気光学結晶であるZ軸伝播 LiNbO_3 結晶膜3に対しX軸方向に電界が印加され（座標系については図1参照）、この点で、縦型変調方式の光電圧センサである第1の実施形態や第4の実施形態などと相違する。本実施形態では、このように、 LiNbO_3 結晶膜3への電界の印加方向は、Z軸方向（光軸8の方向）ではなくX軸方向であるので、センサ部において、第1導電性反射膜6に代えて第1反射膜22が、第2導電性反射膜7に代えて第2反射膜24がそれぞれ使用され（反射膜22, 24には導電性が要求されない）、 LiNbO_3 結晶膜3に被測定電圧 V_m を印加するための1対の印加電極51がX軸方向に対向して LiNbO_3 結晶膜3をX軸方向に挟むように配置される。また、本実施形態のようにZ軸伝播 LiNbO_3 結晶膜3に対しX軸方向に電界を印加した場合の変調度に関係する電気光学定数は γ_{22} であり、偏光子1と検光子4の設定方向はX軸方向かY軸方向であり、 $\lambda/4$ 板2の設定方向はX軸に対して $\pm 45^\circ$ である。

【0085】

上記以外の部分についての本実施形態の基本的構成は、図1に示す第1の実施形態の構成と同様であるので、本実施形態の光電圧センサにおける構成要素のう

ち第 1 の実施形態におけるものと同一の構成要素については、同一の参照符号を付してその説明を省略する。また、本実施形態の光電圧センサの全体的な動作も実質的に第 1 の実施形態と概ね同様であるので、詳しい説明を省略する。

【 0 0 8 6 】

図 6 は、本実施形態に係る光電圧センサの要部の具体的な構造を示す透視正面図である。この光電圧センサは、第 4 の実施形態と同様に基板 4 4 を備えており、この光電圧センサのセンサ部を構成する偏光子 1、 $\lambda/4$ 板 2、第 1 反射膜 2 2、電気光学結晶としての LiNbO_3 結晶膜 3、第 2 反射膜 2 4 および検光子 4 をそれぞれ密着させて所定の光軸 8 上に順に配置するように位置決めする部品ガイド 4 3 が、基板 4 4 の中央部に設けられている。また、第 4 の実施形態の場合と同様の構成の光ファイバーガイド 4 2 a、4 2 b が基板 4 4 に設けられていて、光ファイバーガイド 4 2 a は、発光部 1 8 の入力側光学系を構成する光ファイバー 1 4 6 a を部品ガイド 4 3 で位置決めされた偏光子 1 に光学的に結合させるように、光ファイバー 1 4 6 a を案内する。光ファイバーガイド 4 2 b は、受光部 1 9 の出力側光学系を構成する光ファイバー 1 4 6 b を部品ガイド 4 3 で位置決めされた検光子 4 に光学的に結合させるように、光ファイバー 1 4 6 b を案内する。また、基板 4 4 には 1 対の電極 5 2 が取り付けられており、その 1 対の電極 5 2 の一方および他方は、1 対の印加電極 5 1 の一方および他方にそれぞれリード線によって接続されている。したがって、1 対の電極 5 1 間に被測定電圧 V_m が印加されると、その電圧 V_m が電気光学結晶である LiNbO_3 膜 3 に X 軸方向に印加される。

【 0 0 8 7 】

また、本実施形態では、センサ部における第 1 反射膜 2 2 と第 2 反射膜 2 4 との間隔がセンサ部への入射光 9 の波長の半分の整数倍となるように設定されている。これによって第 1 および第 4 の実施形態と同様、第 1 反射膜 2 2 と第 2 反射膜 2 4 の間でエタロン共振器が構成されるため、第 1 反射膜 2 2 および第 2 反射膜 2 4 に垂直な方向である光軸 8 の方向に伝播する光が支配的となり、ビーム角度分布 1 5 は急峻となる。その結果、光学部品の公差等によってセンサ部への入射光 9 のビーム状態にバラツキがあっても、本実施形態の光電圧センサの出力で

ある変調度は安定化するという効果に加えて、センサ部を通過する光の指向性が向上するという効果が得られる。

【 0 0 8 8 】

上記のように本実施形態によれば、第 4 の実施形態と同様、センサ部において LiNbO_3 結晶膜 3 を囲む領域にエタロン共振器が構成されることによって、センサ部を通過する光の指向性が向上してして LiNbO_3 結晶膜 3 への入射光ビームの軸ずれが抑えられる。また、センサ部を構成する各光学部品が板状または膜状となっていて部品ガイド 4 3 によりそれらの光学部品のそれぞれが密着した状態で位置決めされているため、センサ部における光路長が短縮化される（この光路長を例えば 2 ～ 3 mm 程度とすることができる）。すなわち本実施形態においても、センサ部における光の指向性の向上および光路長の短縮化により、レンズを使用することなく、偏光子 1 側での光ファイバー 1 4 6 a の結合ロスと検光子 4 側での光ファイバー 1 4 6 b の結合ロスとを、実用上問題のない範囲に収めることができる。したがって、第 4 の実施形態と同様、光学式センサとしての性能の低下を抑えつつ、レンズを不要として部品点数を削減することで、コスト低減が図られる。

【 0 0 8 9 】

＜第 6 の実施形態＞

次に、本発明の第 6 の実施形態である光電圧センサについて説明する。

本実施形態の光電圧センサは、第 1 の実施形態と基本的に同様の構成、すなわち図 1 に示すような構成を有している。本実施形態の光電圧センサにおける構成要素のうち第 1 の実施形態におけるものと同一の構成要素については、同一の参照符号を付すものとする。なお、本実施形態の光電圧センサの全体的な動作は、実質的に第 1 の実施形態と同様であるので、詳しい説明を省略する。

【 0 0 9 0 】

図 7 は、本実施形態の光電圧センサの要部の具体的な構造を示す透視正面図である。この光電圧センサは、第 4 の実施形態と同様、基板 4 4 を備え、この光電圧センサのセンサ部を構成する光学部品を所定の光軸 8 上に配置するように位置決めするための部品ガイド 4 3 と、発光部 1 8 の入力側光学系を構成する光ファ

イバー（以下「入力側光ファイバー」という）48aを部品ガイド43で位置決めされた所定の光学部品に光学的に結合させるための入力側光ファイバーガイド42aと、受光部19の出力側光学系を構成する光ファイバー（以下「出力側光ファイバー」という）48bを部品ガイド43で位置決めされた所定の光学部品に光学的に結合させるための出力側光ファイバーガイド42bとが、基板44に設けられている。

【0091】

本実施形態では、入力側光ファイバー48aの一方の端面には、偏光子として機能するフォトリック結晶層（以下「フォトリック結晶偏光子」という）71が形成されており、出力側光ファイバー48bの一方の端面には、検光子として機能するフォトリック結晶層（以下「フォトリック結晶検光子」という）72が形成されている。また、本実施形態における部品ガイド43は、第4の実施形態とは異なり、センサ部を構成する光学部品のうち、 $\lambda/4$ 板2、第1導電性反射膜6、電気光学結晶としてのLiNbO₃結晶膜3および第2導電性反射膜7をそれぞれ密着させて位置決めするように構成されている。そして、入力側光ファイバーガイド42aは、入力側光ファイバー48aの端面に形成されたフォトリック結晶偏光子71を部品ガイド43で位置決めされた $\lambda/4$ 板2に光学的に結合させるように、入力側光ファイバー48aを案内する。出力側光ファイバーガイド42bは、出力側光ファイバー48bの端面に形成されたフォトリック結晶検光子72を部品ガイド43で位置決めされた第2導電性反射膜7に光学的に結合させるように、出力側光ファイバー48bを案内する。本実施形態の光電圧センサの具体的な構造のうち上記以外の点については第4の実施形態と同様であるので、同一の構成要素には同一の参照符号を付してその説明を省略する。なお、フォトリック結晶偏光子71およびフォトリック結晶検光子72の形成については後述する。

【0092】

上記のような本実施形態では、第4の実施形態と同様、センサ部における光の指向性の向上および光路長の短縮化によりレンズを不要とした構成となっており、更に、偏光子および検光子がフォトリック結晶層として光ファイバーの端面に

形成されている。このため、光電圧センサの部品点数が更に削減されて更にコスト低減が図られる。なお、偏光子および検光子をフォトニック結晶層として光ファイバーの端面に形成することも、光路長の短縮化に寄与する。また、本実施形態では、第 4 の実施形態と同様、センサ部において LiNbO_3 結晶膜 3 を囲む領域にエタロン共振器を構成して光ビームの指向性を高めているが、このようにして指向性を高めなくてもレンズを不要とするのに十分なほど光路長が短縮化されている場合には、エタロン共振器等を構成する必要はないので、第 1 および第 2 導電性反射膜 6, 7 に代えて透明導電性膜を使用してもよい。

【 0 0 9 3 】

< 第 7 の実施形態 >

次に、本発明の第 7 の実施形態である光電圧センサについて説明する。

本実施形態の光電圧センサは、第 1 の実施形態と基本的に同様の構成すなわち図 1 に示すような構成を有している。本実施形態の光電圧センサにおける構成要素のうち第 1 の実施形態におけるものと同一の構成要素については、同一の参照符号を付するものとする。なお、本実施形態の光電圧センサの全体的な動作は、実質的に第 1 の実施形態と同様であるので、詳しい説明を省略する。

【 0 0 9 4 】

図 8 は、本実施形態の光電圧センサの要部の具体的な構造を示す透視正面図である。この光電圧センサは、第 6 の実施形態と同様、基板 4 4 を備え、この光電圧センサのセンサ部を構成する光学部品を所定の光軸 8 上に配置するように位置決めするための部品ガイド 4 3 と、発光部 1 8 の入力側光学系を構成する入力側光ファイバー 4 8 a を部品ガイド 4 3 で位置決めされた所定の光学部品に光学的に結合させるための入力側光ファイバーガイド 4 2 a と、受光部 1 9 の出力側光学系を構成する出力側光ファイバー 4 8 b を部品ガイド 4 3 で位置決めされた所定の光学部品に光学的に結合させるための出力側光ファイバーガイド 4 2 b とが、基板 4 4 に設けられている。

【 0 0 9 5 】

本実施形態では、入力側光ファイバー 4 8 a の一方の端面には、直線偏光子として機能するフォトニック結晶層であるフォトニック結晶偏光子 7 1 が形成され

、更にその上に、 $\lambda/4$ 板として機能するフォトニック結晶層であるフォトニック結晶 $\lambda/4$ 板 8 1 が形成されている。すなわち、フォトニック結晶偏光子 7 1 とフォトニック結晶 $\lambda/4$ 板 8 1 とが積層されることによって円偏光子として機能するフォトニック結晶の多層膜が、入力側光ファイバー 4 8 a の一方の端面に形成されている。また、出力側光ファイバー 4 8 b の一方の端面には、検光子として機能するフォトニック結晶層であるフォトニック結晶検光子 7 2 が形成されている。

【 0 0 9 6 】

本実施形態における部品ガイド 4 3 は、第 6 の実施形態とは異なり、センサ部を構成する光学部品のうち、第 1 導電性反射膜 6、電気光学結晶としての LiNbO_3 結晶膜 3 および第 2 導電性反射膜 7 をそれぞれ密着させて位置決めするように構成されている。また、入力側光ファイバーガイド 4 2 a は、入力側光ファイバー 4 8 a の端面に形成されたフォトニック結晶 $\lambda/4$ 板 7 1 を部品ガイド 4 3 で位置決めされた第 1 導電性反射膜 6 に光学的に結合させるように、入力側光ファイバー 4 8 a を案内する。出力側光ファイバーガイド 4 2 b は、出力側光ファイバー 4 8 b の端面に形成されたフォトニック結晶検光子 7 2 を部品ガイド 4 3 で位置決めされた第 2 導電性反射膜 7 に光学的に結合させるように、出力側光ファイバー 4 8 b を案内する。

【 0 0 9 7 】

本実施形態の光電圧センサの具体的な構造のうち上記以外の点については第 4 の実施形態と同様であるので、同一の構成要素には同一の参照符号を付してその説明を省略する。なお、フォトニック結晶偏光子 7 1、フォトニック結晶 $\lambda/4$ 板 8 1 およびフォトニック結晶検光子 7 2 の形成については後述する。

【 0 0 9 8 】

上記のように本実施形態では、第 4 の実施形態と同様、センサ部における光の指向性の向上および光路長の短縮化によりレンズを不要とした構成となっていて、更に、入力側光ファイバー 4 8 a の端面に直線偏光子および $\lambda/4$ 板がフォトニック結晶層として形成され、出力側光ファイバー 4 8 b の端面には検光子がフォトニック結晶層として形成されている。このため、光電圧センサの部品点数が

更に削減されて更にコスト低減が図られる。なお、偏光子、 $\lambda/4$ 板および検光子をフォトニック結晶層として光ファイバーの端面に形成することも、光路長の短縮化に寄与する。

【0099】

<第8の実施形態>

次に、本発明の第8の実施形態である光電圧センサについて説明する。

本実施形態の光電圧センサは、第1の実施形態と基本的に同様の構成、すなわち図1に示すような構成を有している。ただし、第1の実施形態における偏光子1および $\lambda/4$ 板2は、本実施形態では1つの円偏光子として実現されている。本実施形態の光電圧センサにおける構成要素のうち第1の実施形態におけるものと同一の構成要素については、同一の参照符号を付するものとする。なお、本実施形態の光電圧センサの全体的な動作は、実質的に第1の実施形態と同様であるので、詳しい説明を省略する。

【0100】

図9は、本実施形態の光電圧センサの要部の具体的な構造を示す透視正面図である。この光電圧センサの要部は、図8に示した第7の実施形態における要部の構造とほぼ同様の構造を有している。しかし、本実施形態では、入力側光ファイバー48aの一方の端面に円偏光子として機能するフォトニック結晶層（以下「フォトニック結晶円偏光子」という）91が単一層として形成されており、この点で、フォトニック結晶偏光子71とフォトニック結晶 $\lambda/4$ 板81とが積層されることによって円偏光子が実現されている第7の実施形態と相違する。また、本実施形態では、入力側光ファイバーガイド42aは、入力側光ファイバー48aの端面に形成された上記のフォトニック結晶円偏光子91を部品ガイド43で位置決めされた第1導電性反射膜6に光学的に結合させるように、入力側光ファイバー48aを案内する。本実施形態における上記の点以外の構造は第7の実施形態における構造と同様であるので、本実施形態の光電圧センサの要部の構造を構成する各部のうち第7の実施形態におけるものと同一の部分については、同一の参照符号を付して詳しい説明を省略する。なお、フォトニック結晶円偏光子91およびフォトニック結晶検光子72の形成については後述する（図12参照）

【0101】

上記のように本実施形態では、第7の実施形態と同様、センサ部における光の指向性の向上および光路長の短縮化によりレンズを不要とした構成となっていて、更に、入力側光ファイバー48aの端面に円偏光子がフォトニック結晶層として形成され、出力側光ファイバー48bの端面に検光子がフォトニック結晶層として形成されている。このため、本実施形態は、第7の実施形態と同様に、光電圧センサの部品点数が削減されてコスト低減が図られるという利点を有している。更に、本実施形態では、第7の実施形態におけるフォトニック結晶偏光子71とフォトニック結晶 $\lambda/4$ 板81とが、円偏光子として機能する単一のフォトニック結晶層91として実現されるため、本実施形態は、第7の実施形態よりもコスト面において有利である。

【0102】

<第9の実施形態>

次に、本発明の第9の実施形態である光学式磁界センサについて説明する。

本実施形態の光学式磁界センサは、図7に示した第6の実施形態である光電圧センサにおいて部品ガイド43によって位置決めされている $\lambda/4$ 板2、第1導電性反射膜6、 LiNbO_3 結晶膜3および第2導電性反射膜7に代えて、磁気光学結晶膜101を備えている。この光学式磁界センサは、送電線や配電線等を通流する電流によって誘起される磁界を磁気光学結晶膜101にX軸方向（光軸方向）に印加してその磁界強度を測定するために使用される。したがって、電気光学結晶である LiNbO_3 結晶膜3に電界（電圧）を印加するための電極やリード線は不要である。本実施形態の光学式磁界センサにおける上記以外の部分の構成については、第6の実施形態と概ね同様であるので、同一の構成要素には同一の参照符号を付して詳しい説明を省略する。なお、このような光学式磁界センサによれば、送電線や配電線等を通流する電流によって誘起される磁界の強度を測定することにより、その電流の大きさを検知することができる。

【0103】

図10は、本実施形態の光学式磁界センサの要部の具体的な構造を示す透視正

面図である。この光学式磁界センサは、基板44を備え、磁気光学結晶膜101を所定の光軸8上に配置するように位置決めするための部品ガイド43と、発光部の入力側光学系を構成する入力側光ファイバー48aを部品ガイド43で位置決めされた磁気光学結晶膜101に光学的に結合させるための入力側光ファイバーガイド42aと、受光部19の出力側光学系を構成する出力側光ファイバー48bを部品ガイド43で位置決めされた磁気光学結晶膜101に光学的に結合させるための出力側光ファイバーガイド42bとが、基板44に設けられている。

【0104】

本実施形態では、第6の実施形態と同様、入力側光ファイバー48aの一方の端面には、直線偏光子として機能するフォトニック結晶偏光子71が形成されており、出力側光ファイバー48bの一方の端面にはフォトニック結晶検光子72が形成されている。そして、入力側光ファイバーガイド42aは、入力側光ファイバー48aの端面に形成されたフォトニック結晶偏光子71を部品ガイド43で位置決めされた磁気光学結晶膜101の一方の面に光学的に結合させるように、入力側光ファイバー48aを案内する。出力側光ファイバーガイド42bは、出力側光ファイバー48bの端面に形成されたフォトニック結晶検光子72を部品ガイド43で位置決めされた磁気光学結晶膜101の他方の面に光学的に結合させるように、出力側光ファイバー48bを案内する。上記のようにして磁気光学結晶膜101の2つの面に光学的にそれぞれ結合するフォトニック結晶偏光子71とフォトニック結晶検光子72は、それらの設定方向が45度をなすように設定される。したがって、フォトニック結晶偏光子71を通過した後の直線偏光の偏光方向と、フォトニック結晶検光子72を通過した後の直線偏光の偏光方向とは、互いに45度だけずれている。

【0105】

上記のように構成された光学式磁界センサにおいて、発光部の光源から出射された無偏光は、入力側光ファイバー48aを通過して磁気光学結晶膜101に向う際に、入力側光ファイバー48aの端面に形成されたフォトニック結晶偏光子71を通過する。フォトニック結晶偏光子71を通過した光は直線偏光となって磁気光学結晶膜101に入射する。この直線偏光が磁気光学結晶膜101を通過

する際に、その偏光方向が、磁気光学結晶膜 1 0 1 に印加される磁界 H_m のうち磁気光学結晶膜 1 0 1 に垂直な方向の成分の強度に応じた角度だけ回転する。磁気光学結晶膜 1 0 1 を通過した直線偏光は、出力側光ファイバー 4 8 b の端面に形成されたフォトニック結晶検光子 7 2 を経て、出力側光ファイバー 4 8 b によって受光部内の光電変換素子へ伝送され、そこで受光されて電気信号に変換される。フォトニック結晶検光子 7 2 を通過した後の直線偏光の光量は、磁気光学結晶膜 1 0 1 における偏光方向の回転角度に応じて変化するため、受光部内の光電変換素子から出力される電気信号に基づき、磁気光学結晶膜 1 0 1 に印加された磁界 H_m の強度を求めることができる。

【 0 1 0 6 】

上記のような本実施形態によれば、偏光子および検光子がフォトニック結晶層として光ファイバーの端面に形成されているため、部品点数が削減されるとともに、発光部における光源からの光が入力側光ファイバー 4 8 a を出射してから偏光子 7 1、磁気光学結晶膜 1 0 1 および検光子 7 2 を経て出力側光ファイバー 4 8 b の端面に到達するまでの光路長が短縮化される。本実施形態はこの光路長の短縮化によってレンズを使用しない構成となっており、これによりまた部品点数が削減される。本実施形態によれば、このような部品点数の削減によってコストの低減が図られる。

【 0 1 0 7 】

< 第 1 0 の実施形態 >

次に、本発明の第 1 0 の実施形態である光電圧センサについて説明する。

本実施形態の光電圧センサは、縦型変調方式の光電圧センサであって第 1 の実施形態と基本的に同様の構成を有している（図 1 参照）。一方、具体的な構造の点では、この光電圧センサは図 1 5 に示した従来の構造に類似し、偏光子および検光子として直角 P B S (Polarization Beam Splitter) が使用されている。

【 0 1 0 8 】

図 1 1 は、本実施形態に係る光電圧センサの具体的な構造を示す透視正面図である。この光電圧センサは、センサ部と、発光部と、受光部と、発光側および受光側信号処理回路（図示せず）とを備えている。センサ部は、光の入射側から順

に同一光軸上に配置された、偏光子としての直角PBS 141、 $\lambda/4$ 板142、第1導電性反射膜6、電気光学結晶143、第2導電性反射膜7、および検光子としての直角PBS 144で構成される。また、発光部は、光源としての発光素子を含むE/O回路と、同一光軸上に配置された光ファイバー146a、フェルルール148a、0.25ピッチのGRINレンズ147a、およびホルダ145aからなる入力側光学系とで構成されており、その入力側光学系における各光学部品は互いに接する光軸面が接着剤により接着されている。受光部は、同一光軸上に配置された光ファイバー146b、フェルルール148b、0.25ピッチのGRINレンズ147bおよびホルダ145bからなる出力側光学系と、その出力側光学系から出射される光信号を電気信号に変換する変換素子を含むO/E回路とで構成されており、出力側光学系における各光学部品も互いに接する光軸面で接着剤により接着されている。

【0109】

上記光電圧センサのセンサ部において同一光軸上に配置された上記各光学部品、すなわち偏光子141、 $\lambda/4$ 板142、第1導電性反射膜6、電気光学結晶143、第2導電性反射膜7、および検光子144は、互いに接する光軸面が全て接着剤で接着されている。また、第1導電性反射膜6は1対の電極149の一方に接続され、第2導電性反射膜7は1対の電極149の他方に接続されている。上記光電圧センサの被測定電圧 V_m は、この1対の電極端子144の端子間に印加される。

【0110】

発光側および受光側信号処理回路は、それぞれ発光部および受光部によってセンサ部と接続されている。センサ部の偏光子141の入力側光軸面は発光部のGRINレンズ147aの光軸面と、センサ部の検光子144の出力側光軸面は受光部のGRINレンズ147bの光軸面と、それぞれ接着剤により固定される。そして、接着固定されたセンサ部、発光部における入力側光学系、および受光部における出力側光学系は、ケース（図示せず）に機構的に固定される。なお、上記光電圧センサにおける各光学部品のための接着剤としては、エポキシ系あるいはウレタン系等の樹脂が使用される。また、上記光電圧センサにおいて、電気光

学結晶 1 4 3 としては、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) や、KDP、自然複屈折を有する LiNbO_3 および LiTaO_3 等が使用される。

【0 1 1 1】

ところで上記構成では、発光部および受光部における各光学部品や、センサ部を構成する各光学部品は、互いに接する光軸面で接着剤により接合されており、発光部とセンサ部、および、受光部とセンサ部も、それぞれ互いに接する光軸面で接着剤により接合されている。しかし、センサ部を構成する各光学部品は、接着剤を用いずに、それぞれの接合面間に働く摩擦力で保持される構成とするのが好ましい。すなわち、偏光子 1 4 1 である直角 PBS の出射側光軸面と $\lambda/4$ 板 1 4 2 の入射側光軸面、 $\lambda/4$ 板 1 4 2 の出射側光軸面と第 1 導電性反射膜 6 の入射側光軸面、第 1 導電性反射膜 6 の出射側光軸面と電気光学結晶 1 4 3 の入射側光軸面、電気光学結晶 1 4 3 の出射側光軸面と第 2 導電性反射膜 7 の入射側光軸面、および、第 2 導電性反射膜 7 の出射側光軸面と検光子 1 4 4 である直角 PBS の入射側光軸面の 5 カ所の無接着接合面を介して、 $\lambda/4$ 波長板 1 4 2 と第 1 導電性反射膜 6 と電気光学結晶 1 4 3 と第 2 導電性反射膜 7 とが適当な力で挟み込まれている。これら 5 カ所の無接着接合面に発生する摩擦力で、 $\lambda/4$ 波長板 1 4 2 と第 1 導電性反射膜 6 と電気光学結晶 1 4 3 と第 2 導電性反射膜 7 とが、入力側光学系に接着された偏光子 1 4 1 と出力側光学系に接着された検光子 1 4 4 との間に、固定且つ保持されている。このような構成によれば、電気光学結晶 1 4 3 に加わる応力の緩和により電気光学結晶の温度特性が改善される（特開平 9 - 1 4 5 7 4 5 号公報参照）。

【0 1 1 2】

また、本実施形態のセンサ部において、第 1 の実施形態と同様、第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 との間隔がセンサ部への入射光の波長の半分の整数倍となるように、センサ部を構成する各光学部品の厚みなどが設定されている。これにより、第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 によって電気光学結晶 1 4 3 を囲む領域内に、エタロン共振器が構成される。

【0 1 1 3】

上記のような本実施形態によれば、第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7

によって電気光学結晶 1 4 3 を囲む領域内にエタロン共振器が構成されて光ビーム状態が安定化されるため、光学部品の公差等によってセンサ部への入射光のビーム状態にバラツキがあっても、光電圧センサの出力の温度特性はばらつかずに安定化する。

【0 1 1 4】

<直線偏光子として機能するフォトニック結晶の形成>

フォトニック結晶に関する文献として、例えば、ジョアノポーロス (John D. Joannopoulos)、ミード (Robert D. Meade)、およびウィン (Josua N. Winn) によって著された「Photonic crystal (フォトニック結晶)」という文献が、プリンストン大学出版局 (Princeton University Press) から発行されている (1995 年発行)。この文献に記載されているように、フォトニック結晶は、相対的に高い屈折率材料と低い屈折率材料からなる 1 ～ 3 次元の周期構造を有し、主に高屈折率材料および低屈折率材料の屈折率および形状や、屈折率の空間的变化の周期、入射される光ビームの方向および波長 (以下、それぞれ「使用ビーム方向」、「使用ビーム波長」という) に起因する、前記周期構造内での光波の分散特性を利用して、光波を制御するものである。したがって、使用ビーム波長に対し、フォトニック結晶における前記屈折率および形状や、屈折率の空間的变化の周期、使用ビーム方向を適切に制御すると、2 種類の直線偏光である TM 波と TE 波の分散特性に相違が生じるという現象を利用することにより、偏光子や $\lambda/4$ 板等を実現することができる。例えば、このようなフォトニック結晶を利用した偏光子については、特開 2 0 0 0 - 5 6 1 3 3 号公報に開示されている。また、フォトニック結晶に使用される高屈折率材料と低屈折率材料の形状については、前記文献にも記載されているように、多くの種類が提案され作製されている。

【0 1 1 5】

よって、上記第 6 の実施形態等のように、直線偏光子や検光子として機能するフォトニック結晶層を光ファイバー端面に形成することが可能である。すなわち、高屈折率材料と低屈折率材料からなるフォトニック結晶層を光ファイバーの端面に形成する際に、その光ファイバーを伝送すべき光を構成する TM 波と TE 波のうち一方のみがそのフォトニック結晶層を通過するように、その光の波長に対

して高屈折率材料および低屈折率材料の屈折率および形状や、屈折率の空間的変化の周期、使用ビーム方向を設定することができる（例えば特開 2 0 0 0 - 5 6 1 3 3 号公報に記載の図 4 および図 6 参照）。光ファイバー端面へのフォトニック結晶の具体的な形成方法については後述する。

【 0 1 1 6 】

なお、第 1 の実施形態では、高屈折率層 3 1 と低屈折率層 3 2 という 2 種類の層が交互に積層されてなるフォトニック結晶として第 1 多層膜 3 3 および第 2 多層膜 3 4 を作製する際に、その 2 種類の層がセンサ部への入射光の方向（光軸方向）に積層され、高屈折率層 3 1 の厚みと低屈折率層 3 2 の厚みとの和がその入射光の波長の $1/4$ となるように設定されていて（図 4 参照）、これにより、TM 波と TE 波のいずれもがそのフォトニック層を通過できないようにしている。これは、1 次元フォトニック結晶として形成された第 1 多層膜 3 3 および第 2 多層膜 3 4 がその入射光に対して反射膜として機能することを意味する。

【 0 1 1 7 】

＜ $\lambda/4$ 板として機能するフォトニック結晶の形成＞

上記のように、使用ビーム波長に対してフォトニック結晶における前記屈折率および形状や、屈折率の空間的変化の周期、使用ビーム方向を適切に制御すると、2 種類の直線偏光である TM 波と TE 波の分散特性に相違が生じるという現象を利用することにより、 $\lambda/4$ 板を実現することができる。したがって、第 7 の実施形態のように、 $\lambda/4$ 板として機能するフォトニック結晶層を光ファイバー端面に形成することが可能である。すなわち、高屈折率材料と低屈折率材料からなるフォトニック結晶層を光ファイバーの端面に形成する際に（具体的な形成方法は後述）、その光ファイバーを伝送すべき光を構成する TM 波と TE 波の双方がそのフォトニック結晶層を通過し且つその通過によって TM 波と TE 波との間にその光の波長の $1/4$ に相当する位相差が生じるように、その光の波長について高屈折率材料および低屈折率材料の屈折率および形状や、屈折率の空間的変化の周期、使用ビーム方向を設定することができる。

【 0 1 1 8 】

＜円偏光子として機能するフォトニック結晶層の形成＞

無偏光を円偏光に変換する偏光子である円偏光子は、光伝播方向に相対的に高い透磁率材料と低い透磁率材料からなる1～3次元の周期構造を有するフォトリック結晶によって実現することができる。

【0119】

図12は、円偏光子として機能するフォトリック結晶の一例を示す斜視図である。このフォトリック結晶は、低透磁率の媒質（例えば空気）中に高透磁率の材料からなる円柱状の部分が周期的に配置されることにより、高透磁率部分111と低透磁率部分112とが2次元的に一定の周期で繰り返される周期構造、すなわち透磁率が2次元のかつ周期的に変化する周期構造（以下「透磁率についての2次元周期構造」という）を有している。なお、高透磁率部分111は、この2次元フォトリック結晶110への入射光の伝播方向に対する透磁率が高ければよく、全ての方向に対して透磁率が高いものである必要はない。また、低透磁率部分112は、この2次元フォトリック結晶110への入射光の伝播方向に対する透磁率が低ければよく、全ての方向に対して透磁率が低いものである必要はない。

【0120】

いま、このように透磁率についての2次元周期構造を有するフォトリック結晶110に無偏光が入射するものとし（以下、この無偏光を「無偏波入射光」という）、2次元フォトリック結晶110は、図12に示すように、この無偏波入射光115の伝播方向とその伝播方向に垂直な少なくとも1方向とに透磁率が周期的に変化するように配置されているものとする。無偏波入射光115は、一般に、電界ベクトルが右回りに回転する右回円偏光113と電界ベクトルが左回りに回転する左回円偏光114とに分解することができる。右回円偏光113の磁界（以下、この磁界の波を「第1磁界波」という）と左回円偏光114の磁界（以下、この磁界の波を「第2磁界波」という）とは、共に無偏波入射光115の伝播方向に平行で互いに逆向きになっている。無偏波入射光115の波長に対して、2次元フォトリック結晶110における高透磁率部分111と低透磁率部分112の透磁率や、透磁率の空間的変化の周期、無偏波入射光115の方向が適切に設定されていれば、第1および第2磁界波が2次元フォトリック結晶110に

における高透磁率部分 1 1 1 と低透磁率部分 1 1 2 との境界で反射される際に、その反射前の位相と反射後の位相との差が第 1 磁界波と第 2 磁界波とで相違する。このようにして生じる位相差の相違が所定の条件を満たすと、第 1 および第 2 磁界波のうち一方については散乱がその磁界を弱める方向に働き、他方については散乱がその磁界を強める方向に働く。その結果、直線偏光子として機能する前述のフォトニック結晶と同様、第 1 および第 2 磁界波のうち一方のみが 2 次元フォトニック結晶 1 1 0 を通過するようになる。したがって、2 次元フォトニック結晶 1 1 0 において高透磁率部分 1 1 1 と低透磁率部分 1 1 2 の透磁率や、透磁率の空間的变化の周期、無偏波入射光 1 1 5 の方向を適切に設定することにより、その 2 次元フォトニック結晶 1 1 0 を無偏波入射光 1 1 4 に対して円偏光子として機能させ、円偏波出射光 1 1 6 を得ることができる。よって、第 8 の実施形態のように、円偏光子として機能するフォトニック結晶層を光ファイバー端面に単一層として形成することが可能である（具体的な形成方法は後述）。

【0 1 2 1】

<光ファイバー端面へのフォトニック結晶層の形成>

次に、光ファイバーの端面にフォトニック結晶を作製する方法を説明する。図 1 3 は、3 次元の高屈折率微粒子 1 2 1 と低屈折率材料 1 2 2 とからなる周期構造を有するフォトニック結晶を作製する方法を説明するための図である。この作製方法では、以下のようにして、光ファイバーの端面にフォトニック結晶 1 2 3 が形成される。なお、以下では屈折率についての周期構造を有するフォトニック結晶の作製について説明するが、透磁率についての周期構造を有するフォトニック結晶も同様にして作製することが可能である。

【0 1 2 2】

(1) まず、複数の光ファイバーを各光ファイバーの一方の端面がほぼ同一平面上に揃うように束ねて、光ファイバー束 1 2 4 を作成する。

(2) 上記のようにしてほぼ同一平面上に揃えられた各端面からなる光ファイバー束 1 2 4 の端面を基板とし、その基板上に、それらの光ファイバーで伝送すべき光ビームの波長（使用ビーム波長）の 2 0 ～ 8 0 % 程度の粒径を有する高屈折率微粒子 1 2 1 を周期的に積層する。

(3) 上記のようにして端面に屈折率微粒子 1 2 1 が周期的に積層された光ファイバー束 1 2 4 を個々の光ファイバーに分離する。

【0 1 2 3】

以上の工程 (1) ~ (3) により、端面上にフォトニック結晶が作製された光ファイバーを量産することができる。

【0 1 2 4】

図 1 3 では光ファイバーのコア 1 2 3 の断面と高屈折率微粒子 1 2 1 とがほぼ同じ大きさで描かれているが、通常の光ファイバのコア径は $5 \sim 300 \mu\text{m}$ であり、使用ビーム波長が $0.85 \mu\text{m}$ である場合、高屈折率微粒子 1 2 1 の粒径は $0.17 \sim 0.68 \mu\text{m}$ となる。また、図 1 3 に示したフォトニック結晶 1 2 3 では低屈折率部分 1 2 2 は空気であるが、上記工程 (2) と同様にして微粒子を積層した後に、その微粒子間の間隙にその微粒子の屈折率よりも大きい屈折率の材料を充填するようにしてもよい。この場合、積層された前記微粒子部分を低屈折率部分とし前記微粒子間に充填された材料を高屈折部分とする周期構造を有するフォトニック結晶が得られる。なお、図 1 3 に示したフォトニック結晶 1 2 3 は高屈折率部分と低屈折率部分とが交互に繰り返される周期構造を有しているが、高透磁率部分と低透磁率部分とが交互に繰り返される周期構造を有するフォトニック結晶も上記と同様にして光ファイバー端面に形成することができる。

【0 1 2 5】

ところで、図 1 3 に示したフォトニック結晶 1 2 3 が形成される光ファイバー端面は、光ファイバーのコア 7 3 の中心軸に垂直であるが、上記のフォトニック結晶 1 2 3 の積層方向 (成長方向) と異なる方向が最適条件 (または好適な条件) に対応する場合がある。すなわち、例えば偏光子として機能するフォトニック結晶を光ファイバー端面に形成する場合において、そのフォトニック結晶の積層方向を光ファイバーのその端面からの光の出射方向 (またはその端面への光の入射方向) と異なる所定方向に設定したときに、そのフォトニック結晶が偏光子として最適または好適に機能するときがある。このときには、まず、フォトニック結晶を形成すべき端面が光ファイバーのコア 7 3 の中心軸である光軸 1 2 5 に対して所定の角度をなすように、例えば斜め研磨によって光ファイバーの端面を加

工する。すなわち、図 1 4 に示すように、法線方向と光軸 1 2 5 とのなす角が上記の最適条件に対応するように加工された斜め端面 1 2 6 を持つ光ファイバー 4 8 を作製する。次に、上記工程 (2) と同様にして、この斜め端面 1 2 6 の法線方向 1 2 7 に高屈折率微粒子 1 2 1 を周期的に積層する。これにより、微粒子 1 2 1 を高屈折率部分とし微粒子 1 2 1 間の間隙に存在する空気を低屈折率部分とする周期構造を有するフォトニック結晶が、光ファイバー 4 8 の斜め端面 1 2 6 に形成される。

【0 1 2 6】

なお、上記工程 (1) ~ (3) のように、斜め端面 1 2 6 の形成された複数の光ファイバー 4 8 を各斜め端面 1 2 6 が同一平面上に揃うように束ねて光ファイバー束を作成し、その光ファイバー束の斜めの端面に対して上記のようにしてフォトニック結晶を形成した後に、その光ファイバー束を個々の光ファイバーに分離してもよい。このようにすれば、斜め端面 1 2 6 上にフォトニック結晶が作製された光ファイバーを量産することができる。

【0 1 2 7】

また、図 1 4 に示したように光ファイバー 4 8 の光軸 1 2 5 に対して斜め方向に積層したフォトニック結晶を光軸 1 2 5 に垂直な面を持つ光学部品と光学的に結合する場合には、斜め端面で使用してもよいが、フォトニック結晶が積層された光ファイバー 4 8 の端面がその光学部品の面に密着するように、斜めに積層されたそのフォトニック結晶上に樹脂などを塗布して光軸 1 2 5 に垂直な端面を形成するようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施形態に係る光電圧センサの構成を示す模式図。

【図 2】

水晶製 $\lambda/4$ 板の温度特性による光電圧センサの出力変化、電気光学結晶である LiNbO_3 の温度特性による縦型変調方式の光電圧センサの出力変化、および、電気光学結晶である LiNbO_3 の温度特性による横型変調方式の光電圧センサの出力変化を示す温度特性図。

【図 3】

本発明の第 2 の実施形態に係る光電圧センサにおける導電性反射膜を示す図。

【図 4】

本発明の第 3 の実施形態に係る光電圧センサにおいて低屈折率層と高屈折率層とが交互に積層されている多層膜で構成される導電性反射膜を示す図。

【図 5】

本発明の第 4 の実施形態に係る光電圧センサの要部構造を示す透視正面図。

【図 6】

本発明の第 5 の実施形態に係る光電圧センサの要部構造を示す透視正面図。

【図 7】

本発明の第 6 の実施形態に係る光電圧センサの要部構造を示す透視正面図。

【図 8】

本発明の第 7 の実施形態に係る光電圧センサの要部構造を示す透視正面図。

【図 9】

本発明の第 8 の実施形態に係る光電圧センサの要部構造を示す透視正面図。

【図 1 0】

本発明の第 9 の実施形態に係る光学式磁界センサの要部構造を示す透視正面図。

【図 1 1】

本発明の第 1 0 の実施形態に係る光電圧センサの構成を示す透視正面図。

【図 1 2】

本発明の第 8 の実施形態におけるフォトリソ法によるフォトニック結晶円偏光子の構造を示す斜視図。

【図 1 3】

本発明の第 6 ないし第 9 の実施形態において偏光子、検光子、円偏光子等として機能するフォトリソ法によるフォトニック結晶の作製方法を示す図。

【図 1 4】

本発明の第 6 ないし第 9 の実施形態において偏光子、検光子、円偏光子等として機能するフォトリソ法によるフォトニック結晶の他の作製方法を示す図。

【図 1 5】

従来の光電圧センサの構成を示す透視正面図。

【図 1 6】

光電圧センサの動作原理を説明するための図。

【図 1 7】

従来の光電圧センサにおける出力と電気光学結晶への入射光の軸ずれ角度との関係を示す特性図。

【符号の説明】

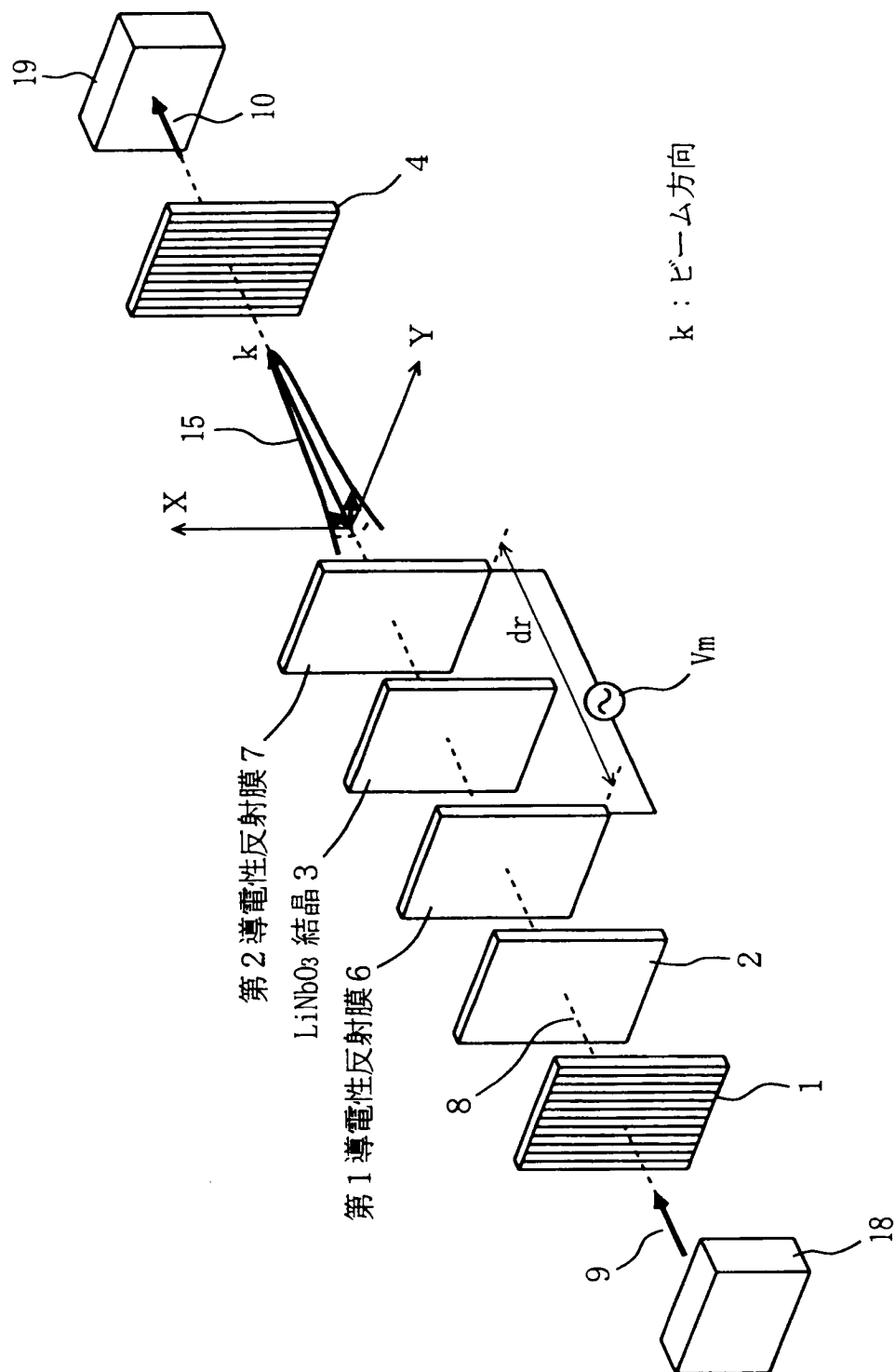
- 1 … 偏光子
- 2 … $\lambda/4$ 板
- 3 … LiNbO_3 結晶膜（電気光学結晶）
- 4 … 検光子
- 6 … 第 1 導電性反射膜
- 7 … 第 2 導電性反射膜
- 8 … 光軸
- 9 … 入射光
- 10 … 出射光
- 15 … ビーム角度分布
- 18 … 発光部
- 19 … 受光部
- 21 … 第 1 透明導電性膜
- 22 … 第 1 反射膜
- 23 … 第 2 透明導電性膜
- 24 … 第 2 反射膜
- 31 … 高屈折率層
- 32 … 低屈折率層
- 33 … 第 1 多層膜
- 34 … 第 2 多層膜
- 41 … 電極（縦型変調の場合の電極）

- 4 2 a …入力側光ファイバーガイド
- 4 2 b …出力側光ファイバーガイド
- 4 3 …部品ガイド
- 4 8 a …入力側光ファイバー
- 4 8 b …出力側光ファイバー
- 4 8 …光ファイバー
- 5 1 …印加電極
- 5 2 …電極（横型変調の場合の電極）
- 7 1 …フォトニック結晶偏光子
- 7 2 …フォトニック結晶検光子
- 8 1 …フォトニック結晶 $\lambda/4$ 板
- 9 1 …フォトニック結晶円偏光子
- 1 0 1 …磁気光学結晶膜
- 1 1 0 …2次元フォトニック結晶
- 1 1 1 …光伝播方向高透磁率部分
- 1 1 2 …光伝播方向低透磁率部分
- 1 1 3 …右回円偏光
- 1 1 4 …左回円偏光
- 1 1 5 …無偏波入射光
- 1 1 6 …円偏波出射光
- 1 2 1 …高屈折率微粒子
- 1 2 2 …低屈折率部分
- 1 2 3 …3次元フォトニック結晶
- 1 2 4 …光ファイバ束
- 1 2 5 …光ファイバーの光軸
- 1 2 6 …斜め端面
- 1 2 7 …積層方向
- 1 4 1 …P B S 偏光子
- 1 4 2 … $\lambda/4$ 板

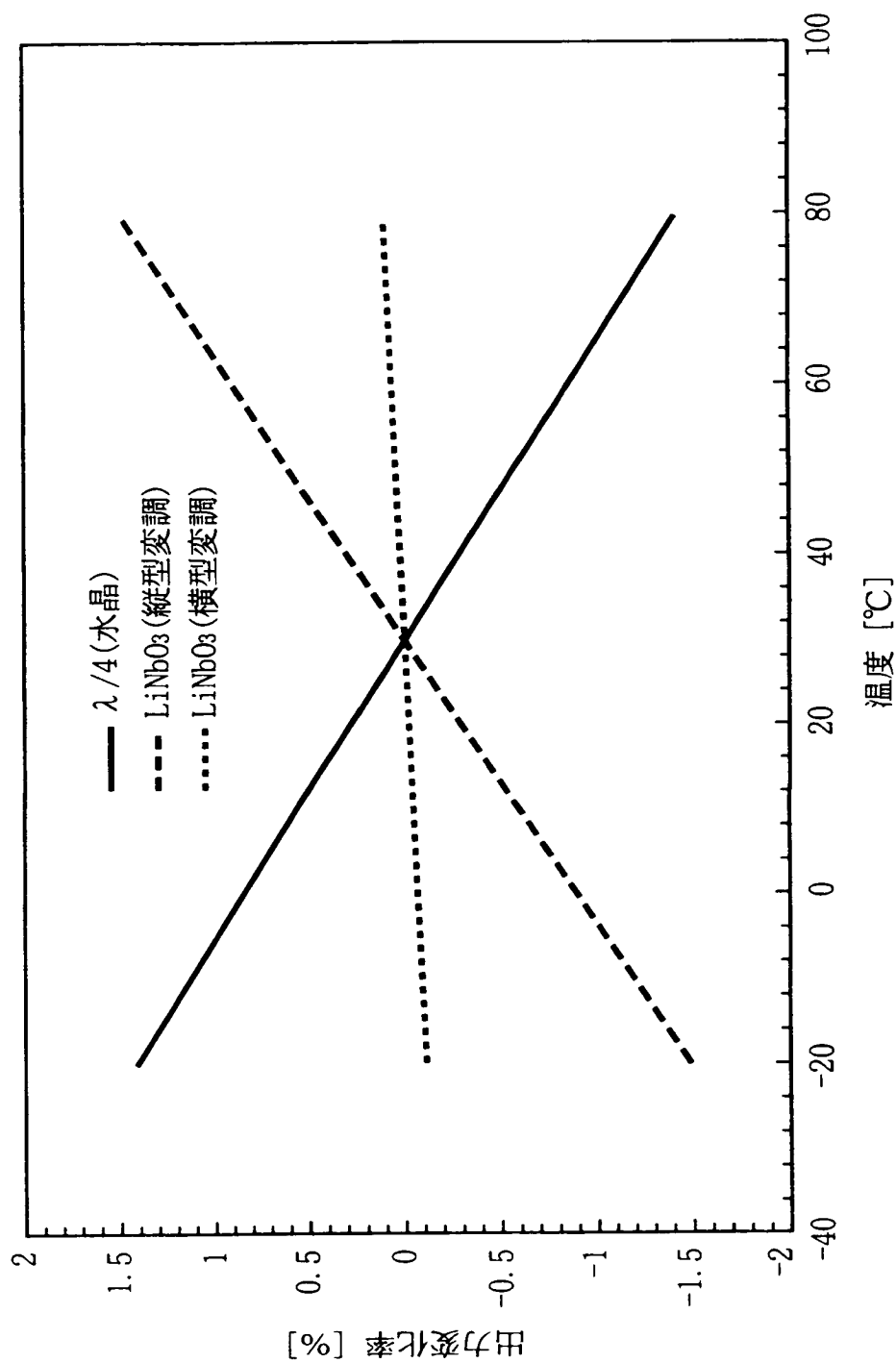
- 1 4 3 ... LiNbO_3 結晶
1 4 4 ... P B S 検光子
1 4 6 a ... 入力側光ファイバー
1 4 6 b ... 出力側光ファイバー
1 4 9 ... 電極
d r ... 第 1 導電性反射膜と第 2 導電性反射膜との間隔
V m ... 印加電圧 (被測定電圧)
H m ... 印加磁界 (被測定磁界)

【書類名】 図面

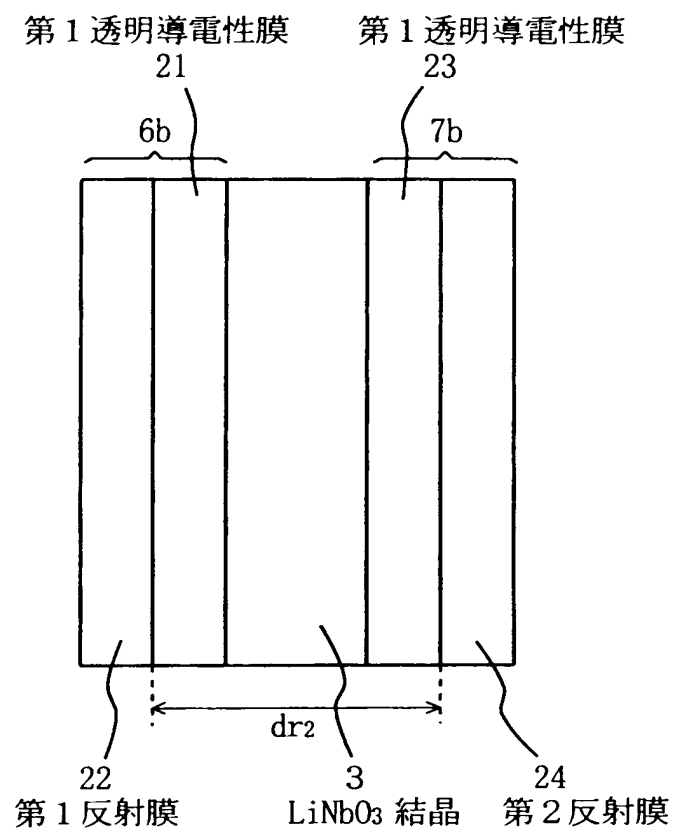
【図 1】



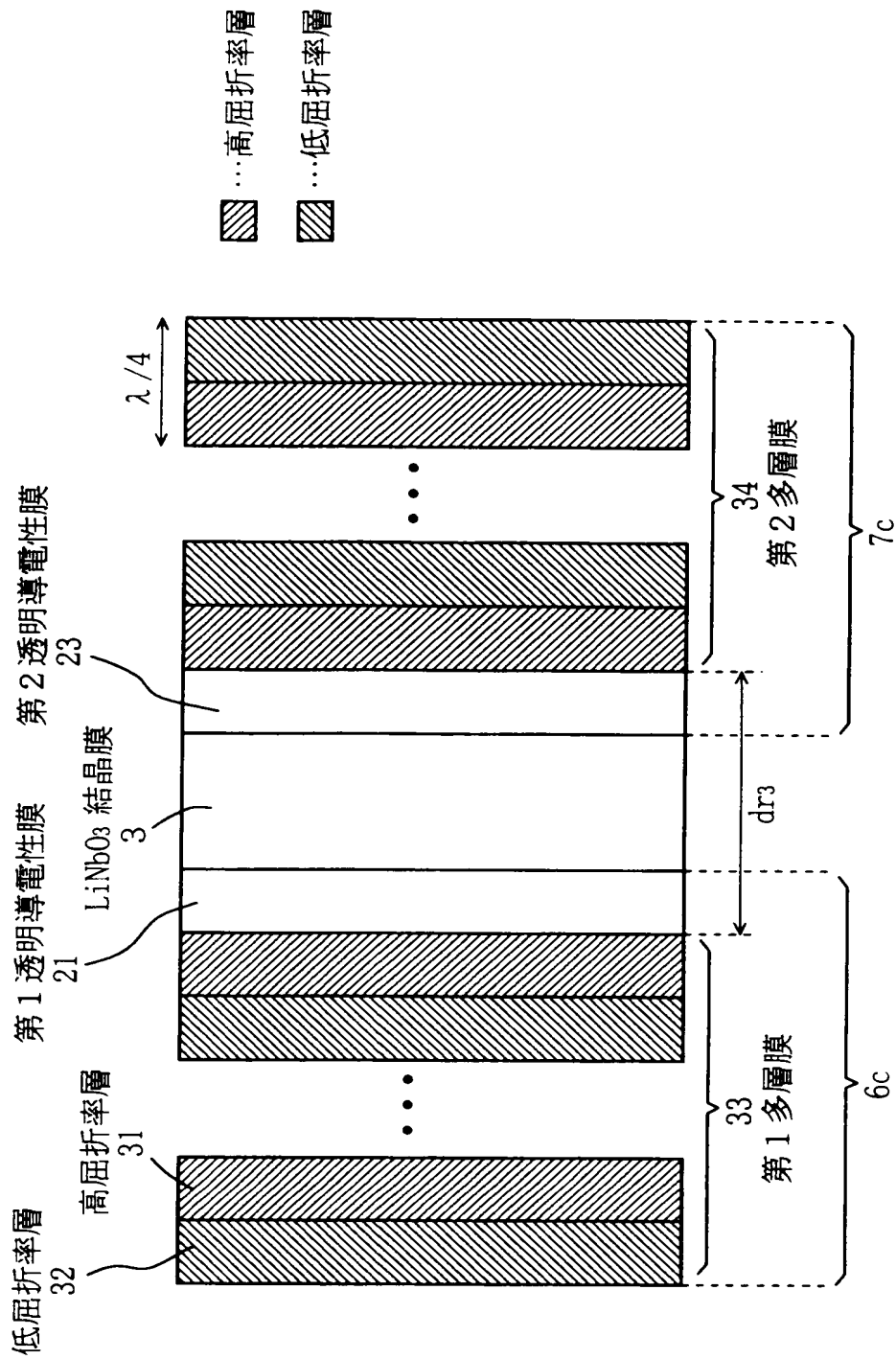
【図2】



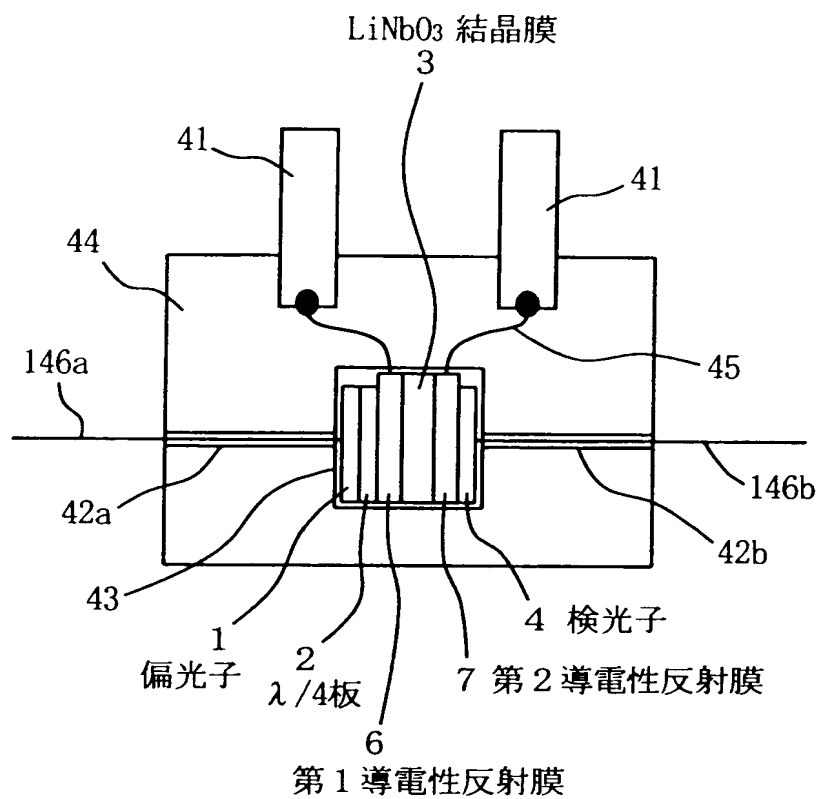
【図 3】



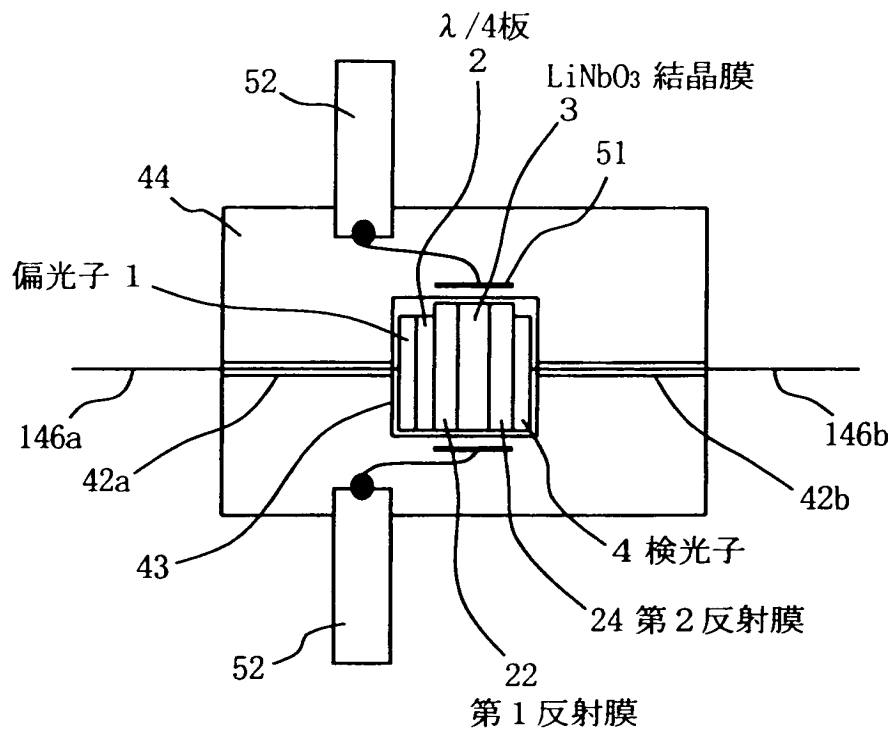
【圖 4】



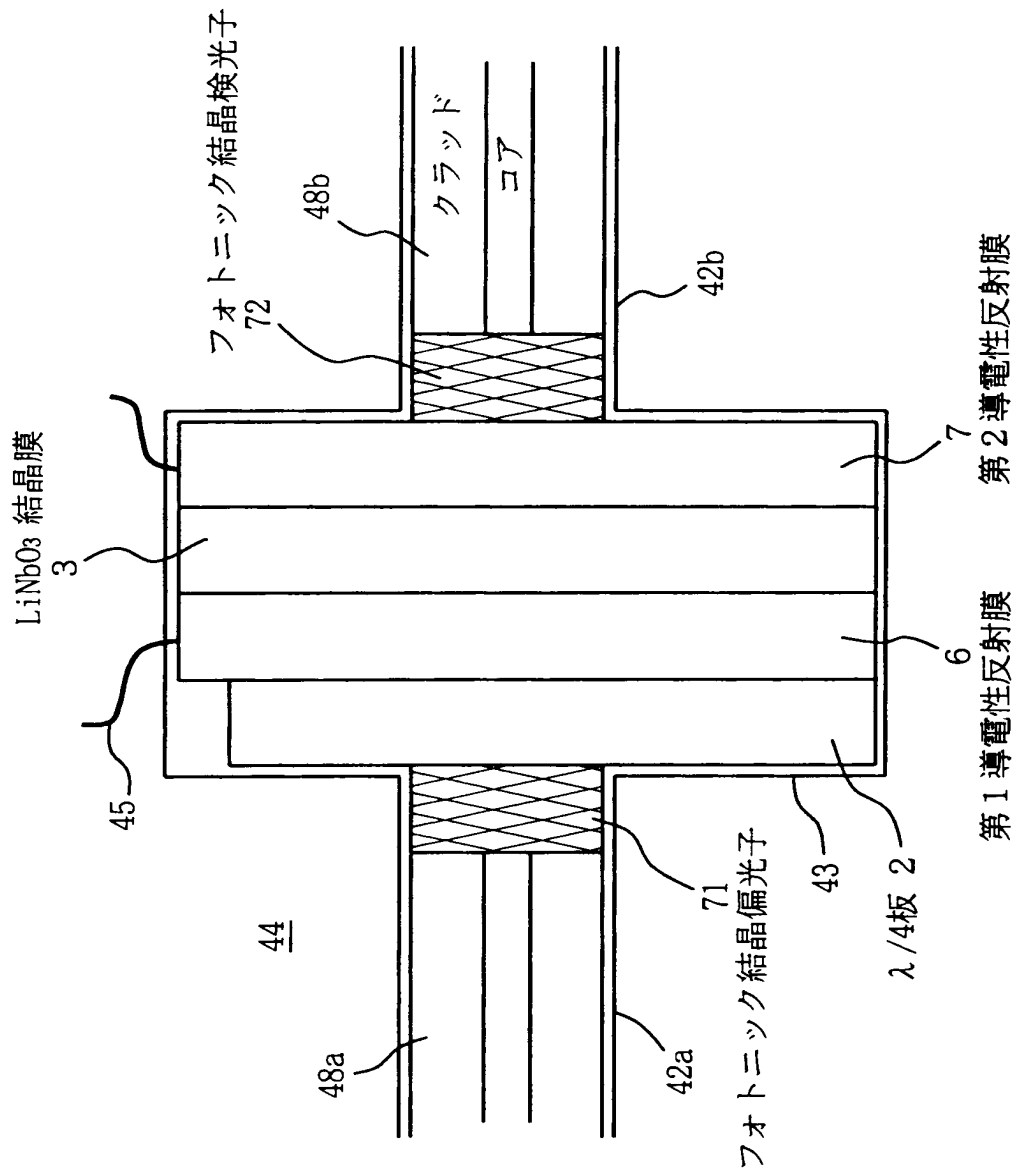
【図 5】



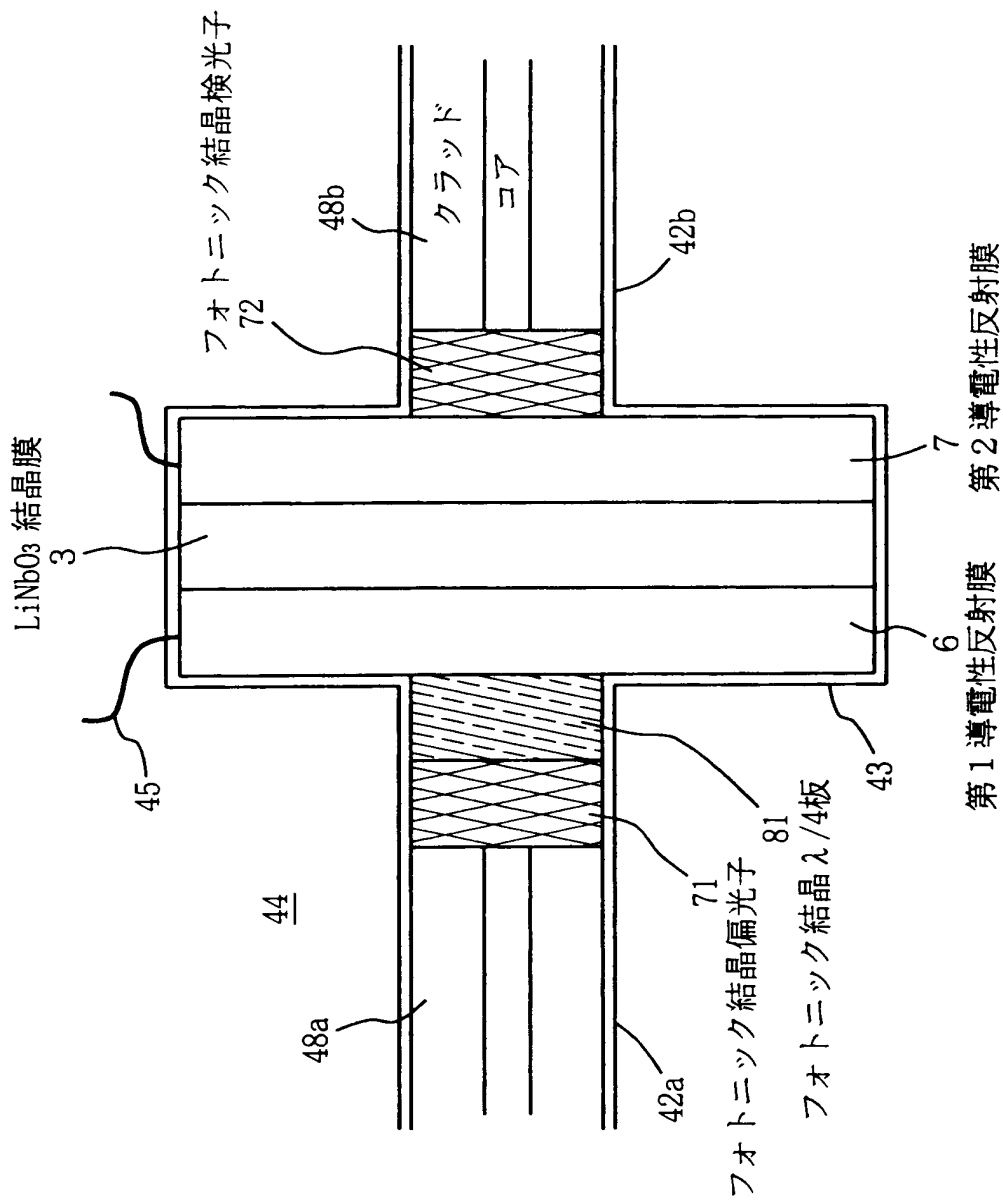
【図 6】



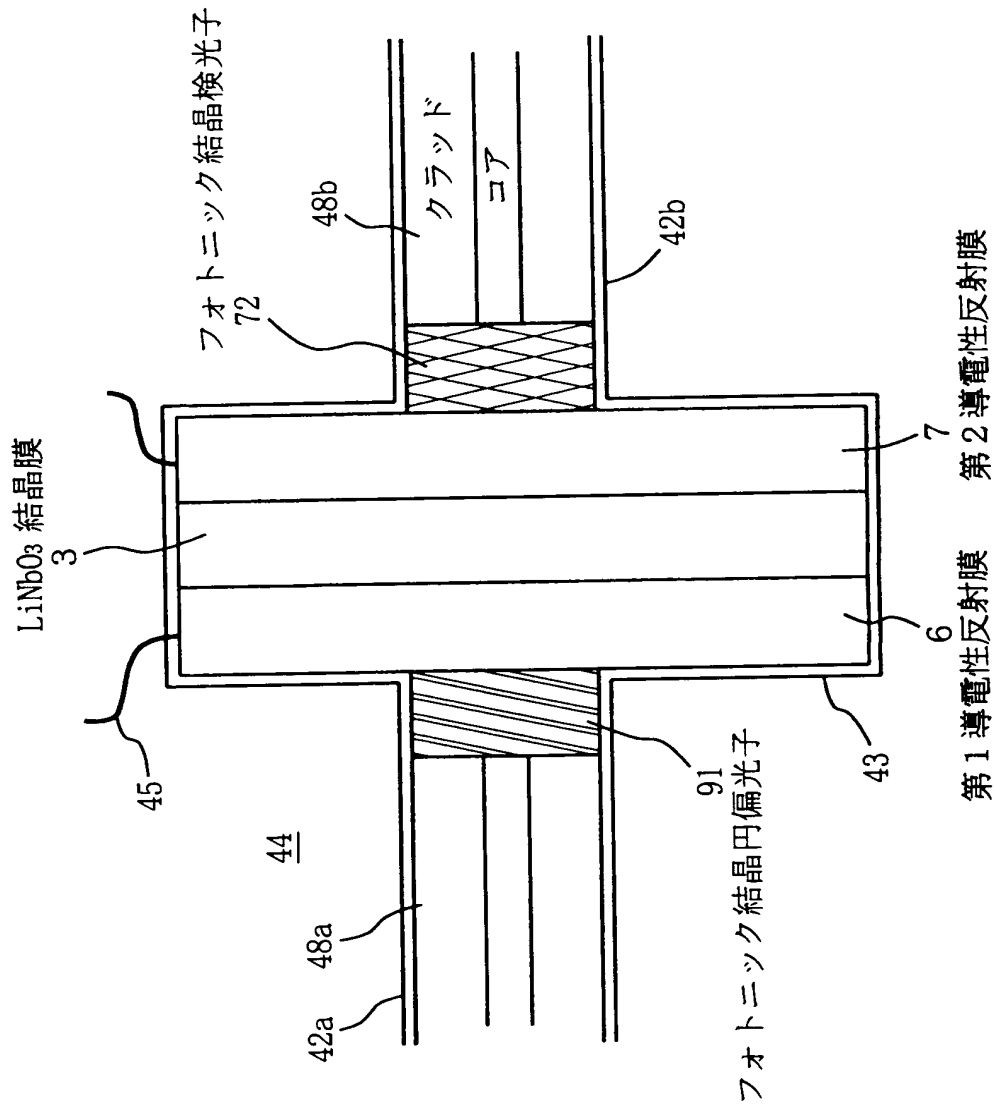
【図 7】



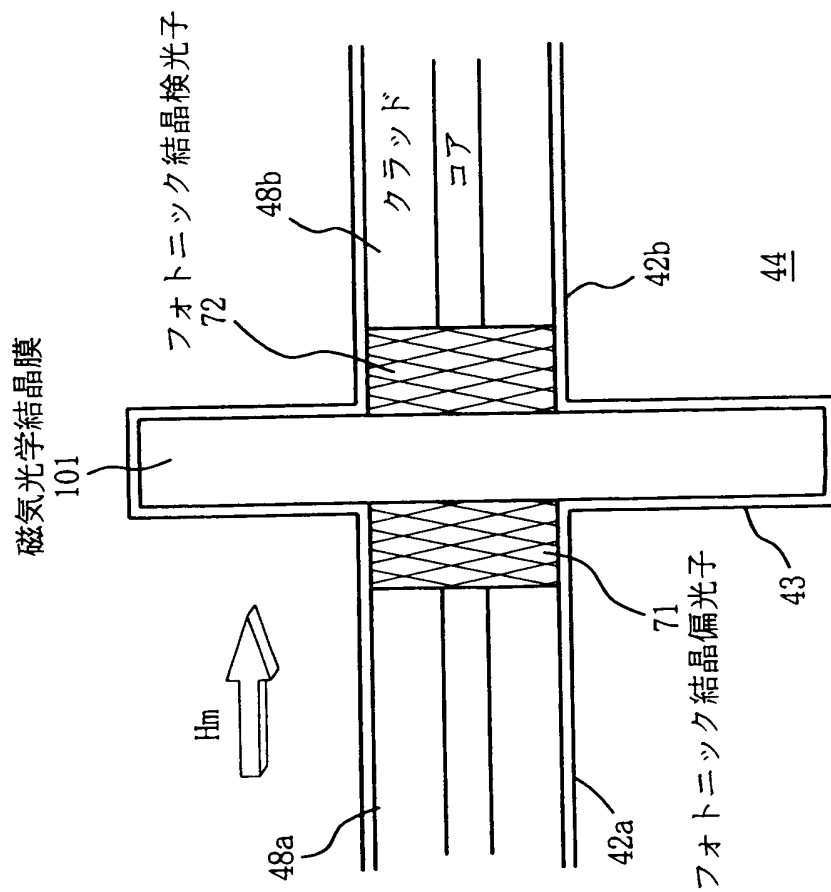
【図8】



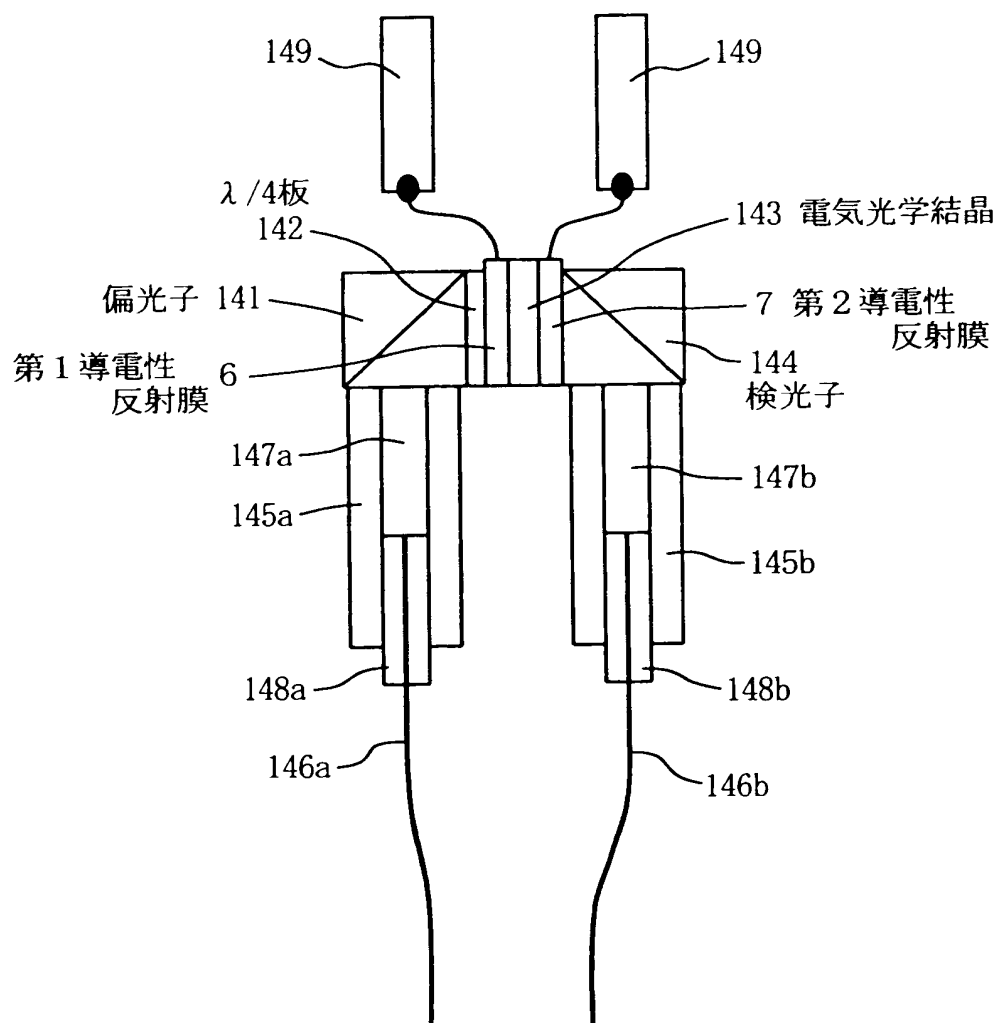
【図9】



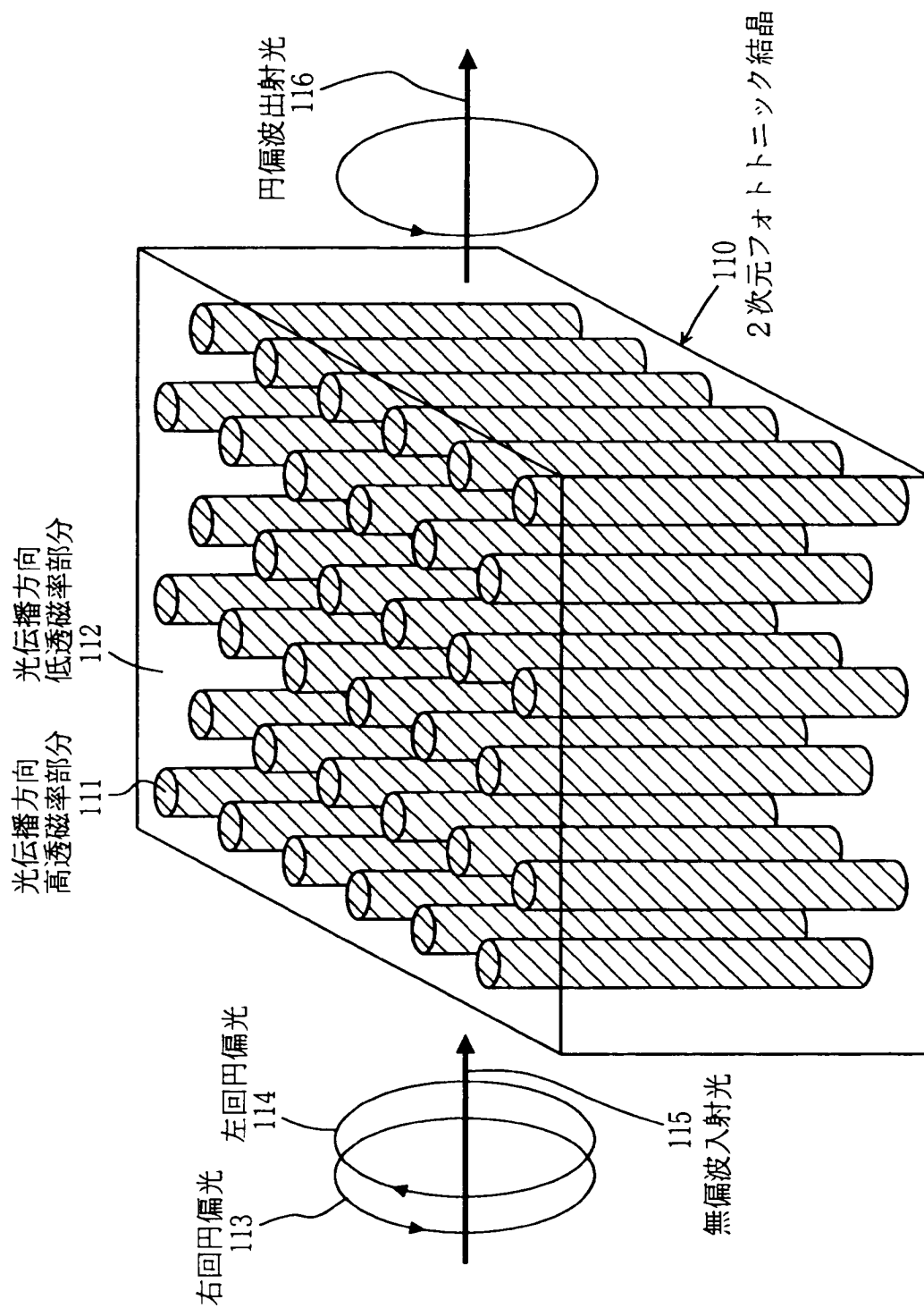
【図10】



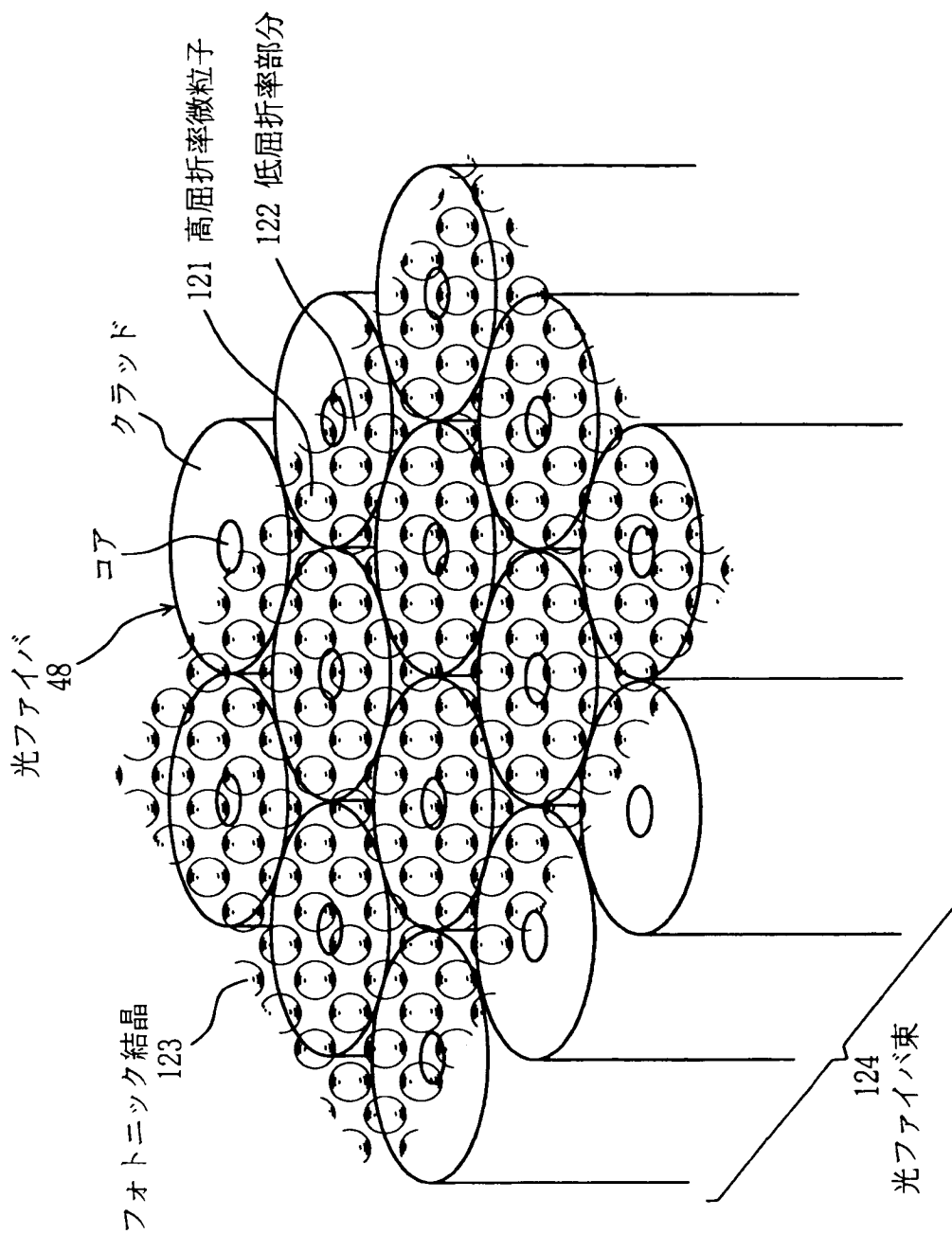
【図 11】



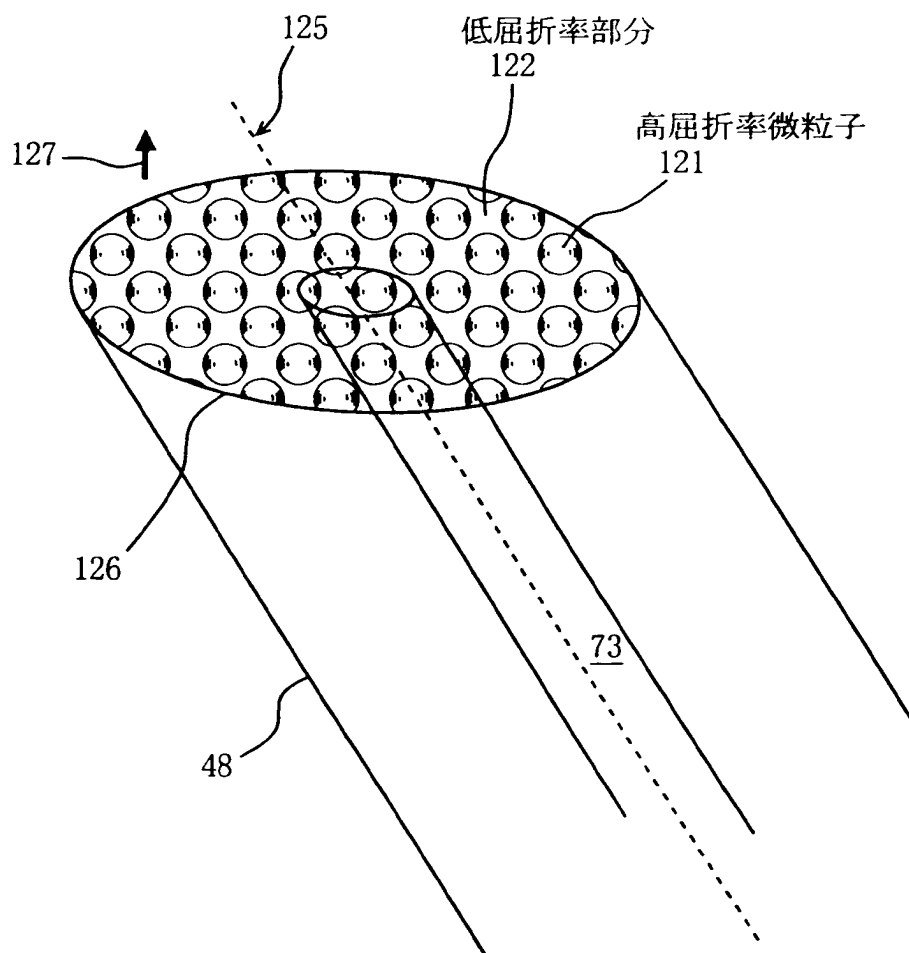
【図 12】



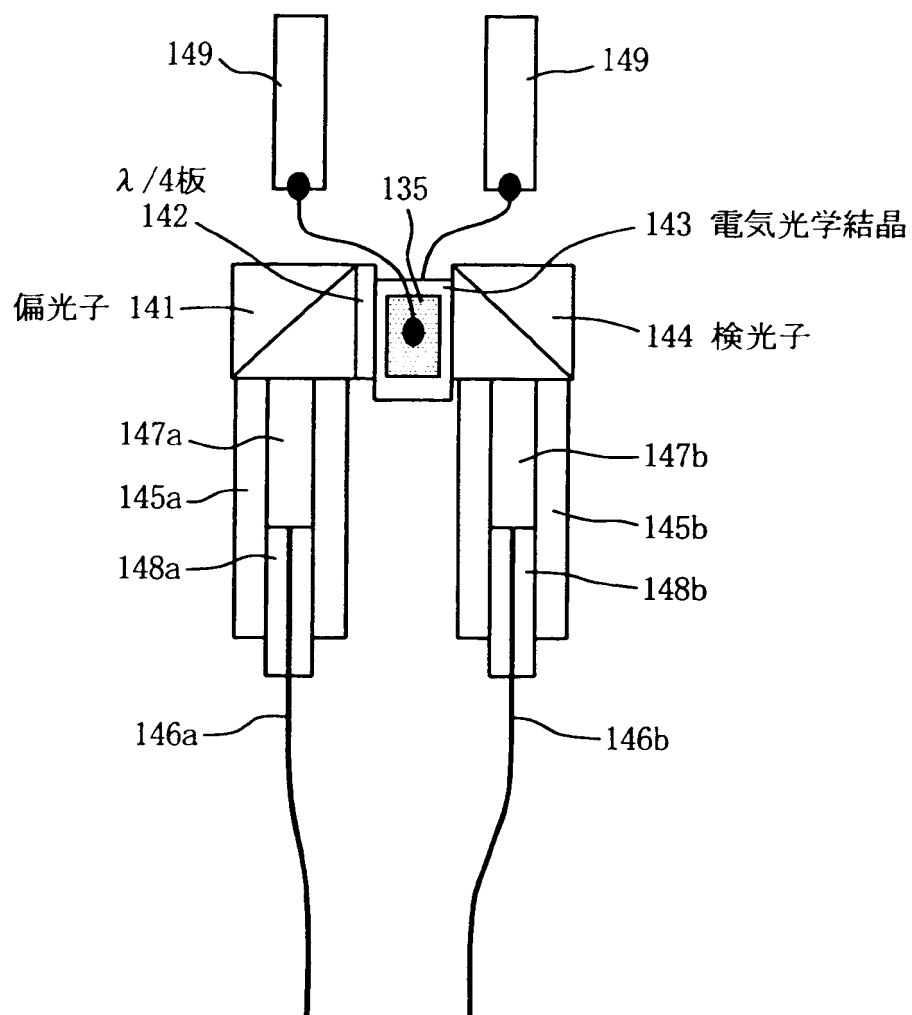
【図 13】



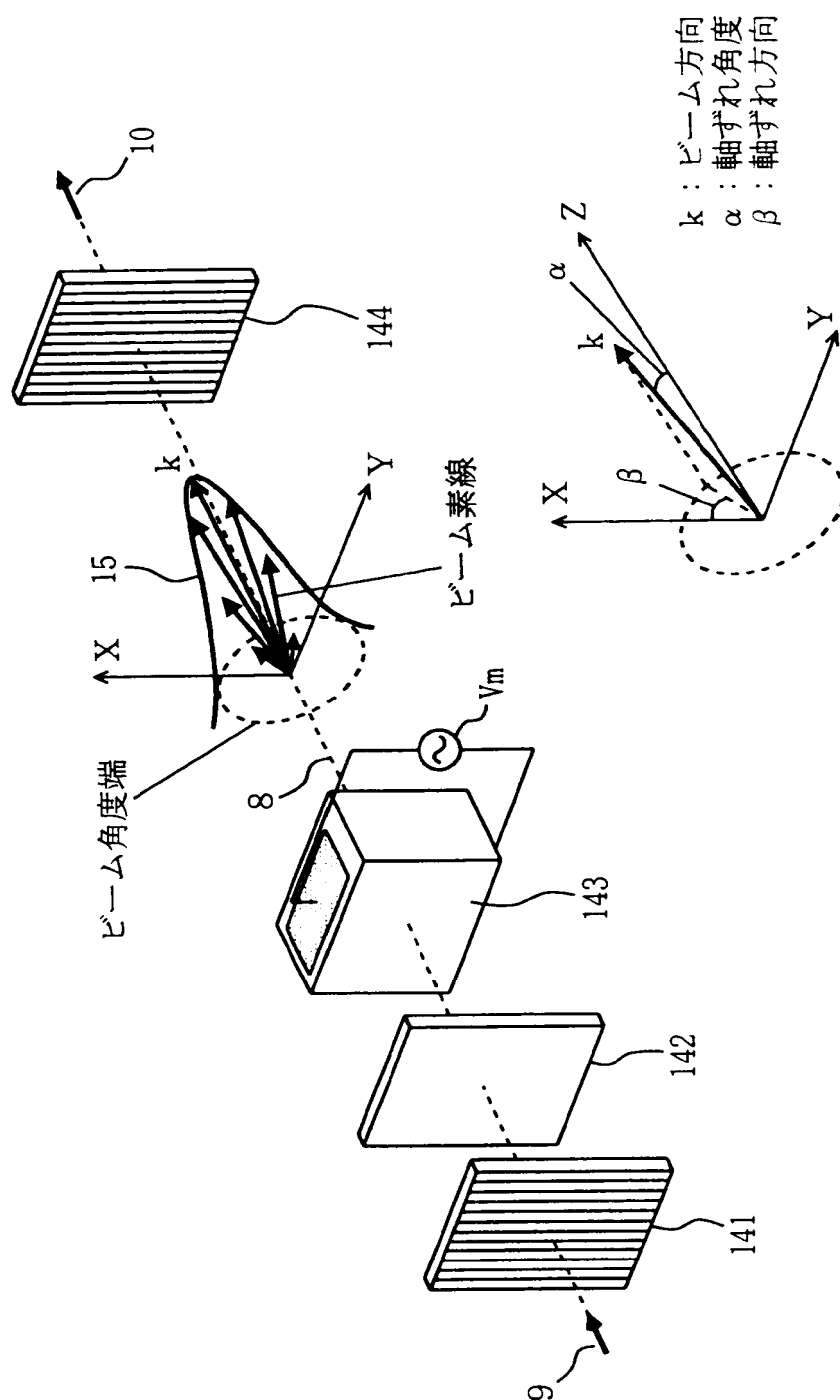
【图 14】



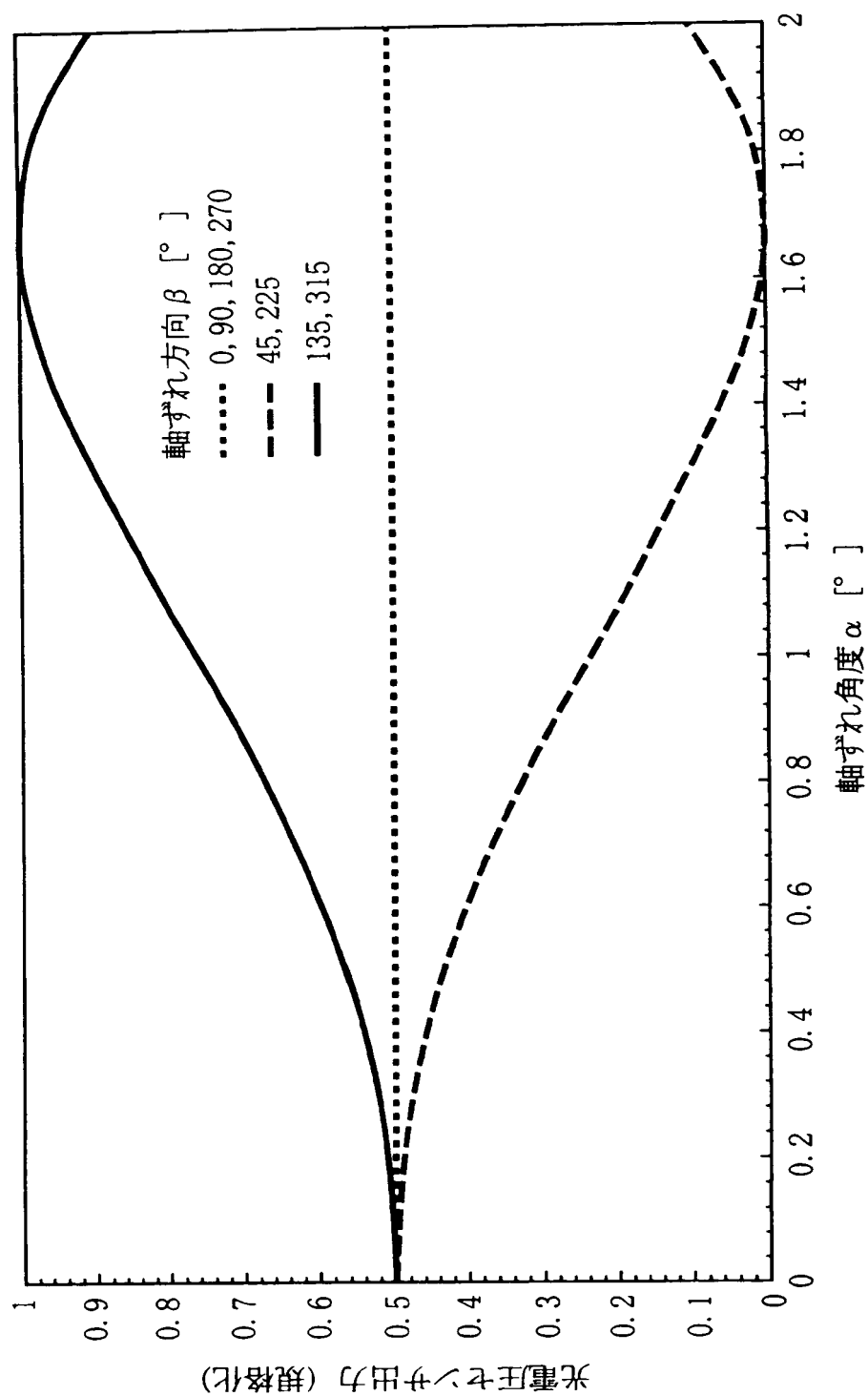
【図 1 5】



【图 16】



【図 1 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 コスト上昇を招くことなく、光学部品の公差等に起因するビーム状態のバラツキを抑制することで、光学式センサの温度特性を安定化させる。

【解決手段】 所定の光軸 8 上に配置された偏光子 1、 $\lambda/4$ 板 2、第 1 導電性反射膜 6、 LiNbO_3 結晶 3、第 2 導電性反射膜 7 及び検光子 4 を含むセンサ部と、センサ部に光ビームを入射する発光部 18 と、センサ部を通過した光ビームを受光する受光部 19 とからなる光電圧センサにおいて、第 1 導電性反射膜 6 と第 2 導電性反射膜 7 との間隔をセンサ部への入射光の波長の半分の整数倍に設定することで、 LiNbO_3 結晶 3 を通過する光ビームを指向性の高い一定分布のビームとする。これにより、 LiNbO_3 結晶 3 を通過する光ビームの状態が安定化し、また、センサ部での光路長を短くするような構成を採用すると、上記指向性の向上と相俟ってレンズが不要となり、部品点数を削減することができる。

【選択図】 図 1

特 2 0 0 0 - 1 8 6 3 4 3

認 定 ・ 付 加 情 報

特許出願の番号	特願 2 0 0 0 - 1 8 6 3 4 3
受付番号	5 0 0 0 0 7 7 6 1 5 0
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 2 年 6 月 2 2 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成12年 6月21日
-------	-------------

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 8 日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地
氏 名	松下電器産業株式会社